



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**MAESTRÍA EN AGROECOLOGÍA AMBIENTE.**

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA “VBM384” PARA LA APLICACIÓN  
PRÁCTICA DE INTERNET DE LAS COSAS IoT, EN EL  
MONITOREO AUTOMÁTICO DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA  
DEL SUELO.**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE MAGISTER  
EN AGROECOLOGÍA Y AMBIENTE**

**AUTORA:**

**ING. VERÓNICA PAOLA BRAVO MERCHÁN. C.C: 010395880-7**

**DIRECTOR:**

**ING. FELIPE EDUARDO FRANCISCO CISNEROS ESPINOSA**  
**PhD. C.C: 010104554-0**

**CUENCA, ECUADOR**

**2017**

## RESUMEN

La Internet de las cosas IoT, permite la interconexión de objetos dotados de la tecnología necesaria para conectarse a internet. En este contexto, se planteó la posibilidad de contribuir con la Agroecología y Ambiente mediante el desarrollo de un dispositivo al cual se le denominó VBM384, que consiste en una aplicación práctica de Internet de las Cosas IoT, para el monitoreo automático de parámetros edáficos, con costos asequibles. Se desarrolló un dispositivo electrónico con la capacidad de almacenar la información medida a través de sensores de bajo costo, y se realizó la comparación de los resultados obtenidos, con los resultados de varios análisis gravimétricos realizados en laboratorio.

Finalmente, una vez validado el equipo, se realizó la comparación de los resultados del equipo desarrollado con los resultados que entrega un equipo producido comercialmente. El resultado de esta investigación evidencia que es posible desarrollar tecnología local con costos muy inferiores en comparación con los dispositivos comerciales, capaces de entregar información confiable.

Además, fue posible demostrar que la transmisión de datos relevantes para la agricultura a la Internet y el acceso a los mismos desde cualquier lugar del mundo es posible, a un costo asequible.

**Palabras clave:** Internet, Internet de las cosas, dispositivo, transmisión de datos, datalogger, humedad, temperatura

## ABSTRACT

The Internet of Things IoT allows the interconnection of objects equipped with the necessary technology to connect to the Internet. In this context, the possibility of contributing to Agroecology and Environment was arise through the development of a device VBM384, which consists of a practical Internet of things application for the automatic monitoring of soil parameters, at affordable costs. It was developed an electronic device with the capacity to store the measured information using low cost sensors, and the results obtained were compared with the results of several gravimetric analyzes performed in the laboratory.

Finally, once the device was validated, a comparison of the results of the developed device and the results of a commercial equipment was made. The result of this research show that it is possible to develop local technology with lower costs in comparison with commercial devices, and that devices will delivery reliable information.

In addition, it was possible to demonstrate that the transmission of agricultural data to the Internet and the access to that data from anywhere in the world is possible, at an affordable cost.

**Keywords:** Internet, Internet of things, device, data transmission, datalogger, humidity, temperature

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	2
ABSTRACT .....	3
TABLA DE CONTENIDOS .....	4
INDICE DE TABLAS .....	8
INDICE DE FIGURAS .....	9
CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL .....	12
CLÁUSULAS DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL .....	13
AGRADECIMIENTO.....	14
DEDICATORIA.....	15
ABREVIATURAS.....	16
Capítulo 1.....	18
Introducción.....	18
1.1    Antecedentes y Justificación.....	18
1.2    Objetivos.....	20
1.2.1    General.....	20
1.2.2    Específicos.....	20
1.2.3    Hipótesis.....	20
Capítulo 2.....	21
Revisión Bibliográfica .....	21
2.1    Internet de las Cosas IoT.....	21
2.1.1    Origen.....	22
2.1.2    Elementos de la IoT .....	22

2.1.3	Beneficios. ....	23
2.1.4	Funcionamiento. ....	23
2.1.5	Riesgos de la IoT.....	24
2.2	Señales .....	24
2.2.1	Señales en tiempo continuo y señales en tiempo discreto .....	25
2.3	Adquisición de señales.....	26
2.4	Convertidores analógicos – digitales (ADC).....	26
2.4.1	Muestreo.....	27
2.4.2	Cuantización.....	29
2.5	Sensores .....	30
2.5.1	Características básicas de un sensor.....	31
2.5.2	Sensores de temperatura .....	38
2.5.3	Sensores de humedad.....	38
2.6	Aplicación práctica de Internet de las Cosas IoT en agricultura, ganadería y ambiente. ....	39
2.6.1	Agricultura. ....	39
2.6.2	Ganadería.....	39
2.6.3	Ambiente. ....	40
2.7	Suelo.....	41
2.7.1	Caracterización.....	41
2.7.2	Análisis de suelo.....	41
2.7.3	Densidad Aparente.....	43
2.7.4	Textura. ....	43
2.7.5	Materia orgánica MO. ....	44
2.7.6	Curva de retención de humedad pF. ....	45
2.7.7	Potencial Hidrógeno pH.....	45
2.7.8	Conductividad eléctrica CE.....	45

2.7.9	Saturación .....	46
2.7.10	Método Gravimétrico .....	46
2.7.11	Capacidad de Campo CC.....	47
2.7.12	Punto de Marchitez Permanente PMP. ....	48
2.7.13	Variables edáficas. ....	48
2.8	Equipos comerciales comúnmente empleados para el registro de información .....	49
2.8.1	Sensor TDR CS625.....	49
2.8.2	Datalogger CR300.....	51
Capítulo 3.....		54
Materiales y Métodos. ....		54
3.1	Descripción ambiental del sitio experimental .....	55
3.2	Caracterización del suelo experimental.....	56
3.3	Descripción del Dispositivo VBM384.....	56
3.3.1	Integración del Hardware VBM384 .....	56
3.3.2	Sensor de Temperatura DS18B20.....	58
3.3.3	Sensor de Humedad.....	59
3.3.4	Microcomputador. Tarjeta electrónica Raspberry Pi 2 B.....	60
3.3.5	Tarjeta electrónica Arduino UNO .....	62
3.4	Implementación del Software. ....	64
3.4.1	Generación e interpretación de registros en datalogger VBM384.....	65
3.5	Descripción del experimento. ....	72
3.5.1	En el laboratorio electrónico .....	72
3.5.2	En el campo.....	76
3.6	Recopilación de datos cuantitativos. ....	91
Capítulo 4.....		92
Resultados y discusión.....		93

4.1	Resultados de análisis de laboratorio.....	93
4.2	Resultados de análisis de gravimetría.....	93
4.3	Validación de datos adquiridos mediante el sistema desarrollado. ....	98
4.4	Comparación de características de un sistema comercial y el sistema desarrollado. ....	106
4.4.1	Comparación de características técnicas .....	107
4.4.2	Comparación económica .....	109
	Conclusiones.....	111
	Anexos .....	113
	Anexo 1. Resultados de análisis de laboratorio .....	113
	Anexo 2. Resultados de análisis de laboratorio/gravimetría. ....	114
	Anexo 3. Resultados de análisis de laboratorio/gravimetría y curva de retención de humedad. ....	115
	Anexo 4. Código fuente programas .....	118
	Código Fuente de programa para sensado de Temperatura .....	118
	Código Fuente de programa para sensado de Humedad .....	122
	Código Fuente de programa para adquisición de señales de humedad mediante ARDUINO UNO .....	125
	Anexo 5. Hoja de campo.....	128
	Anexo 6. Resumen de datos adquiridos por el Sistema VBM384.....	129
	Referencias Bibliográficas.....	147

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos Adicionales sensor CS625 .....	51
Tabla 2. Datos Adicionales Datalogger CR300 .....	53
Tabla 3. Datos Adicionales Sensor DS18B20 .....	58
Tabla 4. Datos Adicionales Sensor YL - 69 .....	60
Tabla 5. Resultados de análisis de laboratorio.....	93
Tabla 6. Resultados de análisis gravimétricos de laboratorio.....	97
Tabla 7. Comparativa de datos reales entre gravimetría, sensor y TDR .....	104
Tabla 8. Comparación de características técnicas .....	109
Tabla 9. Comparación económica.....	109
Tabla 10. Precios Unitarios del dispositivo VBM384 .....	110
Tabla 11. Elementos para montaje.....	110
Tabla 12. Precios unitarios. Implementación sistema comercial – dispositivo VBM384 .....	111



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proyección de Internet of Things “IoT” .	21
Figura 2. Señal en tiempo continuo.	25
Figura 3. Señal en tiempo discreto.	25
Figura 4. Ejemplo de una señal de tiempo continuo.	27
Figura 5. Versión muestreada de la señal mostrada	28
Figura 6. Efecto Alias producido por una tasa de muestreo demasiado lenta.	29
Figura 7. Onda sinusoidal digitalizada con una resolución de 3 bits	30
Figura 8. Curva ideal y error de sensibilidad.	31
Figura 9. Offset de la señal. Desplazamiento de la medida real	34
Figura 10. Curva ideal y curva de medida real.	34
Figura 11: Curva de histéresis.	35
Figura 12: Tiempo de respuesta – ascendente	36
Figura 14. Señal de salida versus señal de entrada.	37
Figura 15. Señal de salida versus señal de entrada.	37
Figura 16. Triángulo textural. USDA.	44
Figura 17. Sensor CS625.	50
Figura 18. Datalogger CR300.	51
Figura 19. Diagrama Fase 1. Calibración.	54
Figura 20. Diagrama Fase 2. Transmisión de datos a la Internet.	54
Figura 21. Ubicación del experimento. Vista frontal – Invernadero.	55
Figura 22. Ubicación del experimento. Vista superior.	55
Figura 23. Arquitectura de hardware de dispositivo VBM384	57
Figura 24. Integración de Hardware.	58
Figura 25. Sensor DS18B20.	59
Figura 27. Sensores YL – 69/ YL – 38.	60

Figura 28. Diagrama de conexión de la Arduino UNO con el sensor YL – 69 y su módulo YL - 38 .....	60
Figura 29. Fotografía de Raspberry Pi 2 B .....	61
Figura 30. Vista en perspectiva de la tarjeta Raspberry Pi 2 B .....	62
Figura 31. Dimensiones de la tarjeta Raspberry Pi 2 B .....	62
Figura 32. Fotografía de Arduino UNO .....	63
Figura 33. Dimensiones de la tarjeta Arduino UNO .....	64
Figura 34. Pruebas en laboratorio .....	73
Figura 35. Sensor de temperatura DS18B20 .....	73
Figura 36. Proceso de armado de los sensores de temperatura DS18B20 .....	74
Figura 37. Proceso de armado de los sensores de humedad YL - 69 .....	75
Figura 38. Proceso de armado del dispositivo VBM384 .....	76
Figura 39. Reconocimiento del área de trabajo .....	77
Figura 40. Ubicación del experimento. ....	77
Figura 41. Remoción de suelo .....	78
Figura 42. Ubicación de bases metálicas .....	78
Figura 43. Vista lateral. Detalle macetas y bases metálicas en metros .....	79
Figura 44. Ubicación de macetas. ....	79
Figura 45. Vista Superior. Disposición de orificios para drenaje. Detalle. ....	80
Figura 46. Drenaje de macetas. ....	80
Figura 47. Corte A – A de macetas. ....	81
Figura 48. Colocación de membrana plástica. ....	81
Figura 49. Homogenización del suelo. ....	82
Figura 50. Colocación del suelo en las macetas. ....	82
Figura 51. Corte A – A. Disposición final de los sensores .....	83
Figura 52. Vista superior. Disposición final de los sensores .....	83
Figura 53. Ubicación de sensores a 0.30 m. ....	84

Figura 54. Distancia entre sensores a 0.20 m. ....	84
Figura 55. Vista superior. Instalación del experimento. Detalle.....	85
Figura 56. Experimento instalado.....	85
Figura 57. Submuestra. ....	86
Figura 58. Muestra compuesta.....	86
Figura 59. Equipo para toma de muestras. ....	87
Figura 60. Toma de muestras. ....	87
Figura 61. Enrasado de muestras. ....	88
Figura 62. Colocación de tapa.....	88
Figura 63. Traslado de muestras al laboratorio. ....	88
Figura 64. Saturación del suelo.....	89
Figura 65. Muestras para gravimetría. ....	89
Figura 66. Muestras para gravimetría. ....	89
Figura 67. Muestras para gravimetría. ....	90
Figura 68. Muestras para gravimetría. ....	90
Figura 69. Muestras para gravimetría. ....	90
Figura 70. Muestras para gravimetría. ....	91
Figura 71. Captura de la información de temperatura transmitida.....	92
Figura 72. Captura de la información de humedad transmitida .....	92
Figura 73. Comparativa de datos reales entre VBM384 y gravimetría. ....	106
Figura 74. Error. Diferencia entre VBM384 y gravimetría.....	106

## CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL.

*Verónica Paola Bravo Merchán* en calidad de autora y titular del trabajo de titulación **"EVALUACIÓN DE UN SISTEMA VBM384 PARA LA APLICACIÓN PRÁCTICA DE INTERNET DE LAS COSAS IoT, EN EL MONITOREO AUTOMÁTICO DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA DEL SUELO"**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 24 de mayo de 2017.



Verónica Paola Bravo Merchán.

C.C: 010395880-7

## CLÁUSULAS DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL.

Verónica Paola Bravo Merchán en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **"EVALUACIÓN DE UN SISTEMA VBM384 PARA LA APLICACIÓN PRÁCTICA DE INTERNET DE LAS COSAS IoT, EN EL MONITOREO AUTOMÁTICO DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA DEL SUELO"** de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de mayo de 2017.



Verónica Paola Bravo Merchán.

C.C: 010395880-7

## AGRADECIMIENTO

Gracias por la bendición de un nuevo día,  
por la compañía de personas valiosas en  
mi vida.

Gracias a la Ing. Amanda Suqui y al Ing.  
Pedro Zea por la colaboración durante el  
desarrollo de la investigación.

Quiero también agradecer infinitamente a  
un grupo humano y profesional de  
excelencia, a los ingenieros Felipe  
Cisneros PhD, y Patricio Capelo M.Sc,  
por apoyar la iniciativa desde el primer  
momento; gracias por permitirme plasmar  
su experiencia en la presente  
investigación que orgullosamente hoy es  
una realidad. Finalmente mi gratitud al  
tribunal lector conformado por los  
ingenieros Iván Belesaca M.Sc y Pedro  
Cisneros M.Sc.

***Verónica***

## DEDICATORIA

A mis compañeros/as en el viaje...

A Dios y a Ma. Auxiliadora, fortaleza y luz en mi camino, con su infinita bondad me han permitido tener una familia maravillosa; y culminar con éxito las etapas en mi vida profesional.

A mis padres Miguel y Ruth, quienes han sido ejemplo de trabajo, amor y dedicación. Dios les pague por todos sus sacrificios, por ser los pilares fundamentales y sobre todo por hacer de nosotras mujeres perseverantes y honestas.

A mi amado esposo Patricio, por devolverme la paz y la confianza, por tomar mi mano y caminar juntos hacia nuestros sueños.

A mi hijo Andrés, mi motor y mi orgullo, quien con su carisma, amor e inocencia matiza mi vida y la hace increíblemente hermosa.

A mis hermanas María Augusta y Lorena Alexandra, por ser el complemento perfecto, por estar juntas en todo momento, por ser siempre esa mano amiga.

A mis niñas hermosas, mis sobrinas Adriana, Karen, Viviana, Romina, Valeria y Adamary, quienes de mil maneras han llenado mi corazón de alegría.

A mis padres políticos Miguel y Olga, por el apoyo y cariño en el día a día.

**Verónica**

## ABREVIATURAS

**GPS:** Sistema de Posicionamiento Global.

**INECC:** Instituto Nacional de Ecología y cambio climático.

**AP:** Agricultura de precisión.

**IoT:** Internet of Things / Internet de las cosas.

**VBM384:** Nombre del dispositivo.

**PMP:** Punto de Marchitez Permanente.

**SMART:** Inteligente.

**PF:** Curva de Retención de Humedad.

**RFID:** Radio frecuencia de identificación.

**WSNs:** Red de ordenadores equipados con sensores.

**Wi – fi:** Protocolo de conexión.

**M2M:** Conexión máquina – máquina.

**pH:** Potencial Hidrógeno.

**MO:** Materia Orgánica.

**CE:** Conductividad eléctrica.

**CC:** Capacidad de campo.

**H:** Humedad.

**T:** Temperatura.

**°C:** Grados Celsius.

**PE:** Polietileno.

**TDR's:** Time Domain Reflectometry/ Reflectómetro de dominio de tiempo.

**RTD:** Resistance temperatura detector/ Detector de temperatura resistivo.

**ADC:** Convertidor analógico – digital.

**mm:** Milímetro.

**cc:** Centímetro cúbico.

**Q:** Caudal.

**USDA:** United States Department of Agriculture.

**cm:** Centímetro.

**FHSS:** Frequency Hopping Spread Spectrum

**Kbps:** Kilobit por segundo.



**ds/m:** DeciSiemens por metro

**μA:** Microamperio.

**Vdc:** Voltios de corriente continua

**g:** Gramo

**CPU:** Unidad central de procesamiento.

**ARM:** Arquitectura de microcontroladores. Hardware y Software.

**VCC:** Tensión de alimentación

**GND:** Tierra

**OneWire:** Protocolo de comunicaciones.

**DS18B20:** Sensor de temperatura

**YL- 69:** Sensor de humedad

**YL – 38:** Módulo del sensor de humedad

**LM393:** Circuito comparador

**Arduino Uno:** Tarjeta para desarrollo de prototipos, microcontrolada

**Raspberry Pi:** Microcomputadora

**MHz:** Megahercio

**MB:** Megabyte

**Mbps:** Megabit por segundo

**μV:** Microvoltio

**Hz:** Hercio

# **EVALUACIÓN DE UN SISTEMA “VBM384” PARA LA APLICACIÓN PRÁCTICA DE INTERNET DE LAS COSAS IoT, EN EL MONITOREO AUTOMÁTICO DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA DEL SUELO.**

## **Capítulo 1.**

### **Introducción.**

#### **1.1 Antecedentes y Justificación.**

La Internet está modificando la manera en la que se desarrollan las actividades cotidianas y profesionales a nivel mundial. El acceso a la Internet ha alcanzado índices elevados en la población, y es notorio que cada vez más actores sociales emplean esta tecnología para mejorar sus condiciones laborales y personales.

El mundo gira alrededor de la tecnología, llevamos el Internet en nuestros bolsillos a través de dispositivos móviles; un número creciente de personas están conectadas a la Internet y utilizan conexiones cada vez más veloces y económicas.

Convivimos con dispositivos “Smart”, cuyo concepto se encuentra fuertemente ligado a una conexión e interacción con la Internet. Esa red informática gigantesca, hace posible el acceso a información virtualmente infinita desde diferentes dispositivos.

Este nuevo concepto innovador denominado Internet de las cosas o IoT por sus siglas en inglés, permite que la conexión a la Internet ya no sea una actividad exclusiva de los seres humanos; IoT permite una amplia conexión de “cosas” a la Internet. Según la firma consultora Gardner, para el año 2020 estarán conectados alrededor de 20 billones de “cosas” a la red<sup>1</sup>. Esas “cosas” a las que se hace referencia, no son nada más que dispositivos de uso cotidiano y que

---

<sup>1</sup> Shovic, J. Raspberry Pi IoT Projects: Prototyping Experiments for Makers. Apress, Liberty Lake, Washington, USA. 2016

forman parte de la vida moderna, en la que disponemos de múltiples equipos que cuentan con una computadora embebida<sup>2</sup>. Algunos de esos dispositivos son capaces de conectarse a la Internet e intercambiar información con algún otro dispositivo, permitiendo una operación conjunta que optimice ciertos procesos. Esa conexión de cosas hacia la Internet es una realidad, y cada vez se acerca más a los hogares ecuatorianos.

Las aplicaciones de IoT en el mundo moderno son múltiples y están disponibles en nuestros teléfonos inteligentes, que nos permiten localizar lugares de ocio, facilitan desarrollo de actividades profesionales y personales, etc. Desde el lugar en el mundo donde nos encontremos.

Lo que nos permite pensar que, en el corto plazo, todos los dispositivos que se involucran con nuestras actividades cotidianas podrían estar conectados a la Internet, y es así que, esta investigación implementó un dispositivo electrónico con ingeniería local embebido denominado VBM384, capaz de realizar el monitoreo automático de variables relevantes del suelo, a partir de la medición automática de parámetros temperatura y humedad, todo esto utilizando la Internet para transmitir los datos desde el sitio donde se originan a cualquier punto en el mundo donde contemos con acceso a la web, para su observación y análisis. Además, permitirá el almacenamiento continuo de información de las variables monitoreadas, haciendo posible el análisis del comportamiento del suelo, tanto en tiempo real<sup>3</sup>, como el acceso a datos históricos que permitan observar la evolución.

El dispositivo VBM384, será conectado al suelo, dispuesto en macetas aisladas dentro del invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, mediante sensores de temperatura DS18B20 y sensores de humedad de suelo YL-69 que se encuentran conectados a un microcomputador Raspberry Pi que se enlaza a Internet y genera una base de

---

<sup>2</sup> Un sistema embebido (anglicismo de embedded) es un sistema de computación diseñado para realizar una o algunas pocas funciones definidas. Como ejemplo podemos citar una smart TV.

<sup>3</sup> Un Sistema de Tiempo Real es aquel que actúa bajo ciertas restricciones definidas de tiempo, es decir, que actúa de manera inmediata apenas ocurre el fenómeno físico.

datos, que podrá ser revisada o analizada desde cualquier lugar del mundo en donde se cuente con una conexión a la Internet.

## 1.2 Objetivos.

### 1.2.1 General

Evaluar el sistema “VBM384” para la aplicación práctica de Internet de las Cosas IoT, en el monitoreo automático de la humedad y temperatura del suelo.

### 1.2.2 Específicos.

Implementar el dispositivo VBM384 integrado con ingeniería nacional para el monitoreo de las variables humedad y temperatura en el suelo.

Ensamblar el dispositivo VBM384 implementado con ingeniería nacional para compararlo con los dispositivos producidos comercialmente.

Recopilar y almacenar los datos de humedad y temperatura en tiempo real, utilizando un microcomputador.

Transmitir la información recopilada y almacenada utilizando IoT hacia la web para ser analizada y utilizada en cualquier lugar del mundo.

### 1.2.3 Hipótesis.

Una adecuada coordinación multidisciplinaria entre profesionales de las Ingenierías: Agropecuaria Industrial, Electrónica, Civil y Agronómica permitirá la implementación local de un sistema de aplicación práctica de IoT, con un costo asequible que constituya un aporte real a la comunidad científica, estudiantil y a los productores, orientado al monitoreo de parámetros edáficos y reducción de la brecha tecnológica.

## Capítulo 2.

## Revisión Bibliográfica

## 2.1 Internet de las Cosas IoT.

El tema sobre el que más se habla en estos tiempos en los ambientes informáticos y de tecnología corresponde a la Internet de las cosas (IoT). Esta alternativa de intercomunicación de las cosas en la vida real, constituye una tendencia, hacia la que el desarrollo de la tecnología de telecomunicaciones se está moviendo en forma acelerada. La IoT es la interconexión de elementos cotidianos, objetos y cosas a la Internet, a través de diferentes dispositivos habilitados con tecnología inalámbrica abierta como la identificación por radiofrecuencia RFID, Wi-Fi, bluetooth y los servicios que brindan los dispositivos inteligentes integrados a los objetos.

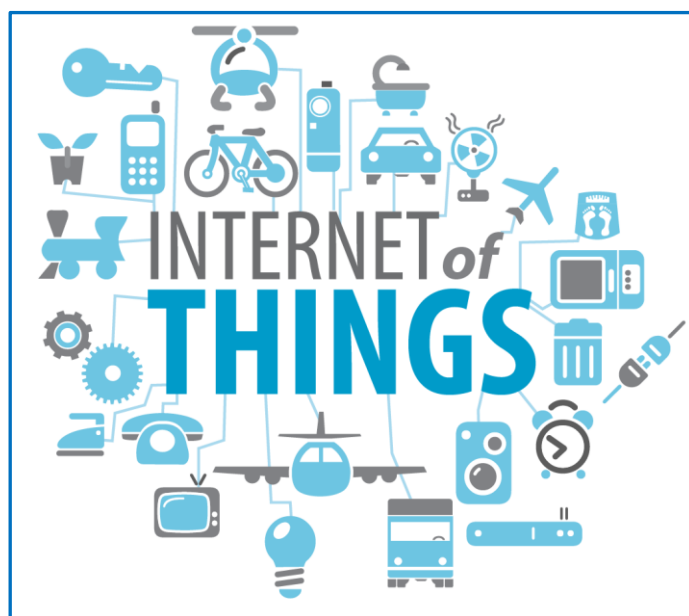


Figura 1. Proyección de Internet of Things “IoT”.

*Fuente: [http://www.huffingtonpost.com/sam-cohen/internet-of-things-as-the\\_b\\_10937956.html](http://www.huffingtonpost.com/sam-cohen/internet-of-things-as-the_b_10937956.html)*

### 2.1.1 Origen.

Kevin Ashton acuñó el término IoT en el año de 1999, en el contexto de la gestión en la cadena de suministros; definido técnicamente como la integración de sensores y dispositivos embebidos en objetos presentes en nuestras actividades cotidianas conectados a la Internet mediante redes fijas e inalámbricas. El hecho de que Internet esté presente al mismo tiempo en todas partes permite que la aceptación masiva de esta tecnología sea más factible. La IoT proporciona las bases y modelos para resolver la problemática de interconexión de todas las “cosas” que nos rodean. IoT se desarrolla utilizando varios de los estándares de Internet existentes, para permitir la transferencia de información, análisis de datos y desarrollo de aplicaciones que interactúen y se comuniquen con los usuarios.

La Internet y sus evoluciones, han permitido la interconexión entre las personas por sí mismas con aplicaciones en sus correos electrónicos, dispositivos inteligentes, redes sociales, etc. Nos enfrentamos a la era de la interconexión con las cosas, para establecer y originar un ambiente totalmente confortable e informado que permita mejorar la toma de decisiones y la calidad de vida.

### 2.1.2 Elementos de la IoT

Los elementos básicos que interactúan en esta tecnología son tres:

#### Software

El Software, permite el intercambio de información entre las aplicaciones, y el análisis de datos con las herramientas informáticas.

#### Hardware.

El Hardware, son los sensores, actuadores y otros dispositivos de comunicación embebidos en los objetos.

## Herramientas.

Las herramientas, permiten la fácil interpretación y visualización de la información, además deberán ser diseñadas para poder acceder desde diferentes dispositivos y aplicaciones en cualquier parte del mundo.

## Aplicaciones.

La IoT tiene múltiples aplicaciones potenciales, será la encargada de conectar dispositivos diversos, los cuales se encontrarán en entornos inteligentes con capacidad de detectar y ejecutar funciones de manera automática.

Las áreas en las que esta tecnología es utilizada son: ciudades, industrias, vehículos y movilidad y casas inteligentes, etc. Asistencia personal, seguridad pública, protección ambiental, agricultura, arquitectura y turismo, todas formando parte de un sistema.

### 2.1.3 Beneficios.

La IoT surge a partir de la problemática por la gestión de la cadena de suministros, para resolver el tema del requerimiento de información de cada objeto que se gestionaba; el objetivo fue proporcionar información a cada objeto para luego poder censarlo, situarlo, enviar instrucciones para operar, monitorear su estado y otras variables. De tal manera, que esta tecnología permitirá un análisis de la información más minucioso, un incremento en la interconexión, proliferación de aplicaciones, monitoreo y tiempo de respuesta mínimos.

### 2.1.4 Funcionamiento.

Para la implementación de IoT, la tecnología más trabajada e investigada es mediante la radio frecuencia RFID, proporcionando a cada objeto una identificación única que permita manipularlo, la idea principal es enlazar las “cosas” del mundo real al mundo en online, utilizando chips embebidos que permitan la comunicación y transferencia de información.

La IoT es una tecnología de innovación, considerada como la cuarta etapa de la revolución industrial por la integración de todas las “cosas”, generando nuevas interacciones entre el trabajo mental, físico y mecánico, todos integrados en la Internet a través de sensores y sistemas embebidos, mediante la comunicación máquina a máquina M2M y otras alternativas mejoradas de interacción hombre - máquina.

#### 2.1.5 Riesgos de la IoT.

Los dispositivos conectados mediante IoT indiscutiblemente podrán presentar varios riesgos en privacidad y seguridad, que podrían ser utilizados para perjudicar a sus usuarios. Estos riesgos existen con las redes informáticas y la tecnología tradicional, sin embargo se acentúan con IoT, como consecuencia de la cantidad de dispositivos conectados a la red que recolecta y transmite información.

### 2.2 Señales

Las señales son magnitudes físicas o variables detectables mediante las que se pueden transmitir mensajes o información. Existe una amplia gama de señales que tienen una importancia práctica en la descripción de fenómenos físicos, como la voz humana, la temperatura, la humedad, la velocidad del viento, etc. (Soliman, 1999).

Las señales eléctricas se pueden medir con mayor facilidad que otras y se pueden representar en forma más simple, por lo que muchas magnitudes físicas son transformadas, mediante transductores, en señales de tensión y corriente que varían con el tiempo.

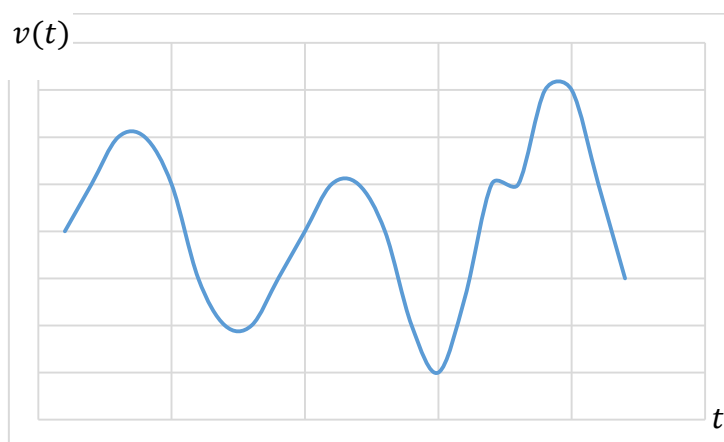
El análisis de las características de las señales eléctricas, como su forma, amplitud, duración y otras variables físicas, permite determinar las características del fenómeno físico medido.



Matemáticamente las señales se representan como funciones de una o más variables independientes. En el caso de las variables físicas de temperatura y humedad, que son representadas por señales eléctricas de tensión y corriente, son funciones de una sola variable: el tiempo.

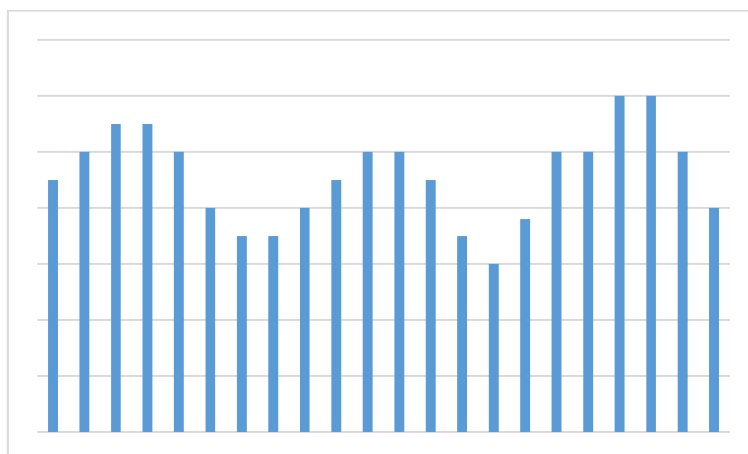
### 2.2.1 Señales en tiempo continuo y señales en tiempo discreto

Las señales se clasifican en función de la naturaleza de la variable independiente. Si la variable independiente es continua, la correspondiente señal se denomina *señal en tiempo continuo*, y está definida por valores continuos de la variable dependiente. (Soliman, 1999). La temperatura y la humedad son señales en tiempo continuo y son función de la variable “tiempo”.



*Figura 2. Señal en tiempo continuo.*

*Fuente: Autora*



*Figura 3. Señal en tiempo discreto.*

*Fuente: Autora*

Sea  $t_1$  un instante temporal determinado y  $\varepsilon$  un número real positivo infinitesimalmente pequeño;  $t_1^+$  representa el instante  $t_1 + \varepsilon$  y  $t_1^-$  representa el instante  $t_1 - \varepsilon$ . Si se cumple que  $x(t_1^-) = x(t_1) = x(t_1^+)$  decimos que la señal es continua en  $t = t_1$ . Si no se cumple esta igualdad, la señal es discontinua en  $t_1$  y la amplitud de la señal  $x(t)$  presentará un salto en ese punto.

Si la variable independiente toma solo valores discretos  $t = kT_s$ , siendo  $T_s$  un número real positivo fijo, y  $k$  un número entero, e decir,  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, etc$ , la correspondiente señal  $x(kT_s)$  se denomina señal en tiempo discreto. Las señales en tiempo discreto representan, por ejemplo, la salida de una fuente de información que produzca cada vez uno de los dígitos  $1, 2, \dots, M$  cada  $T_s$  segundos. Así, si tomamos una “muestra” o medida de la temperatura cada  $T_s$  segundos, el resultado será una señal en tiempo discreto.

## 2.3 Adquisición de señales

La adquisición de señales consiste en medir una variable física del mundo real, transformarla en una señal eléctrica interpretable, almacenar esa información, procesarla y comunicarla para que sea utilizada en la toma de decisiones.

Para que la adquisición de señales sea posible, se requiere emplear sensores. Un sensor es un dispositivo que recibe o responde a un estímulo o a una señal y convierte los fenómenos físicos del mundo real, como temperatura, humedad, presión, etc., en corrientes y tensiones eléctricas medibles. La conversión de la magnitud medida a una variable eléctrica, obedece a fenómenos físicos. En otras palabras, un sensor es un conversor de energía.

## 2.4 Convertidores analógicos – digitales (ADC)

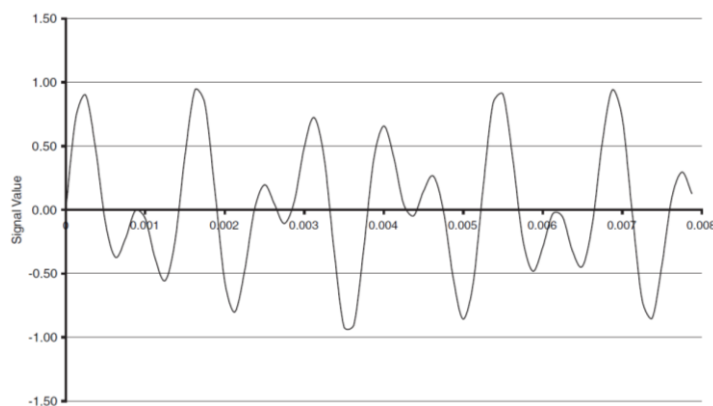
Los convertidores analógicos – digitales, ADC por sus siglas en inglés, transforman las señales del mundo real en números digitales, de manera que puedan ser procesadas por sistemas computarizados.

Un sistema computarizado, (1) adquiere las señales de forma automática, (2) almacena y obtiene información de las señales adquiridas, (3) procesa y analiza la información y (4) muestra los resultados. A este proceso se le conoce como digitalización de señales. Los sistemas que digitalizan señales pueden realizar las tareas citadas en este párrafo a una gran velocidad, confiabilidad, repetibilidad, precisión y resolución; estos conceptos se describen brevemente en el punto 2.5 Sensores.

La conversión analógica – digital considera principalmente dos parámetros, el muestreo y la cuantización.

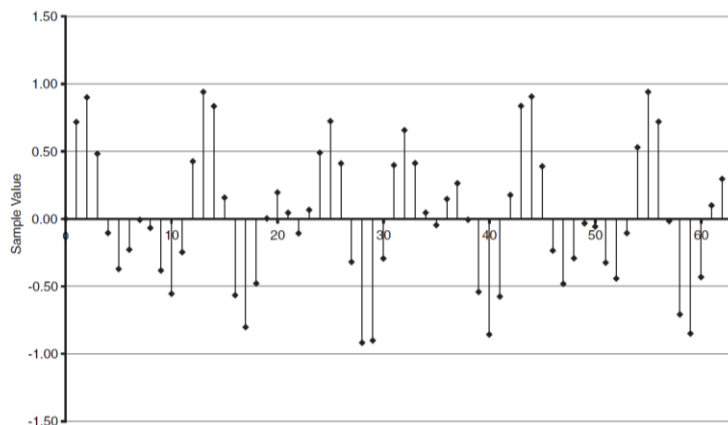
#### 2.4.1 Muestreo

El proceso de digitalización de una señal parte del muestreo de la señal analógica objeto de estudio. El concepto de muestreo consiste en tomar un valor de la señal original para representar la señal durante un intervalo de tiempo, luego del cual, se toma un nuevo valor de la señal, es decir, consiste en adquirir el valor instantáneo de la señal analógica a intervalos de tiempo uniformes.



*Figura 4. Ejemplo de una señal de tiempo continuo*

*Fuente: Huddleston Creed – Intelligent Sensor Design*



*Figura 5. Versión muestreada de la señal mostrada*  
*Fuente: Huddleston Creed – Intelligent Sensor Design*

### Consideraciones en el muestreo

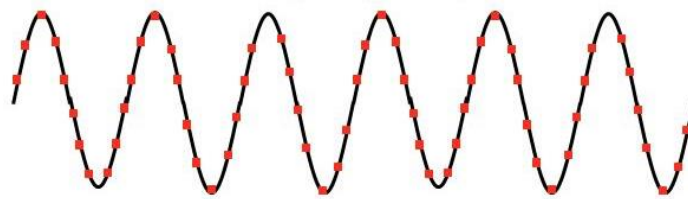
Cuando se analiza el muestreo es importante comprender el Teorema de Nyquist y cómo éste afecta la tasa de muestreo.

El teorema de Nyquist indica que, la mínima tasa de muestreo debe ser el doble del componente más alto de frecuencia de la señal que se va a muestrear. Teóricamente, es posible recuperar la información de la señal original cuando se muestrea a frecuencias por sobre la frecuencia de Nyquist.

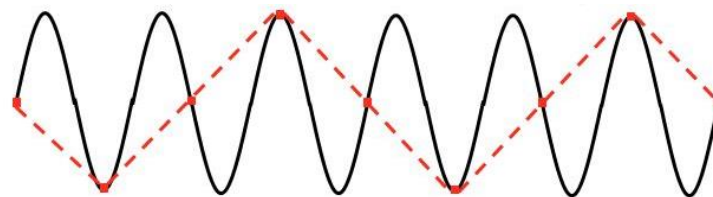
Cuando se realiza un muestreo por debajo de la frecuencia de Nyquist, no será posible recuperar la información de la señal original, y se producirá un error denominado Alias, el cual ocurre cuando se toman muy pocas muestras de la señal original.

### Frecuencia de muestreo

La frecuencia de muestreo es aquella a la cual la señal es digitalizada por un conversor analógico – digital. De acuerdo al Teorema de Nyquist, es importante digitalizar a una frecuencia de muestreo de al menos el doble de la frecuencia más alta de la señal original.



*Frecuencia de muestreo adecuada*



*Frecuencia de muestreo muy baja – efecto Alias*

*Figura 6. Efecto Alias producido por una tasa de muestreo demasiado lenta*

*Fuente: National Instruments – Measurement Tutorial*

#### 2.4.2 Cuantización.

Lo que el muestreo realiza en el dominio del tiempo, la cuantización realiza en el dominio de la amplitud. Como se mencionó anteriormente, la conversión analógica a digital transforma las señales del mundo real en números digitales, así, la señal muestreada debe ser convertida a información digital.

Un ADC cuantifica una señal muestreada seleccionando un valor entero de una lista finita predeterminada de valores enteros para representar cada muestra analógica. Cada valor entero en la lista representa una fracción del rango total de entrada analógica. Normalmente, un ADC elige el valor más cercano a la muestra real de una lista de valores uniformemente espaciados. La conversión analógica - digital permita que la entrada analógica se convierta en una salida digital con una característica uniforme de escalera. Con el fin de clarificar este concepto, en el ejemplo que se presenta en la figura 8, se emplea un conversor analógico – digital de tres bits, es decir, el resultado se producirá en un número binario de tres cifras, para digitalizar una señal sinusoidal con una amplitud variable entre 0 y 10 V.

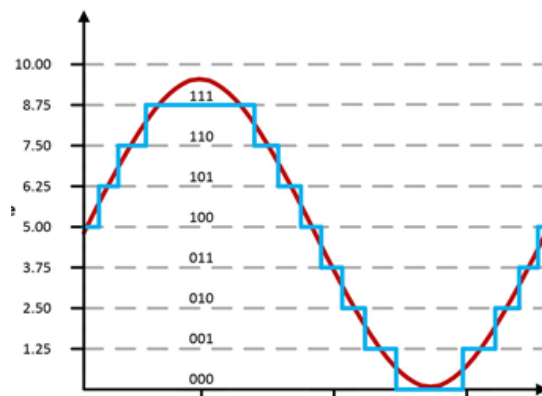


Figura 7. Onda sinusoidal digitalizada con una resolución de 3 bits

Fuente: Autora

En el ejemplo presentado, todos los valores posibles de la señal analógica, pueden ser representados únicamente por ocho valores, conformados cada uno por los tres bits. Se producen ocho posibles valores porque con 3 bits, existen 8 posibles combinaciones. Si se produce una digitalización con 4 bits, los posibles valores asignables en el proceso de muestreo se incrementarán de 8 a 16, por lo que, el error que se produce en la cuantización de la señal se reducirá a la mitad. A mayor número de bits, existirá una cantidad mayor de posibles valores que puede tomar la señal, por lo que, esa señal digitalizada será cada vez más cercana a la señal analógica.

El número de bits está limitado por las características del conversor analógico digital elegido para la adquisición de señales. El sistema binario empleado por los sistemas digitales está gobernado por la siguiente ecuación:

$$\text{Número de posibles valores} = 2^n$$

Donde  $n$  corresponde al número de bits del conversor seleccionado, y se le conoce como resolución. Así, un ADC de 10 bits tendrá una resolución de 10 bits, y por lo tanto las muestras de la señal analógica digitalizada podrán ser representadas por  $2^{10} = 1024$  posibles valores.

## 2.5 Sensores

Los sensores convierten los fenómenos físicos en señales eléctricas. Por ejemplo, las termocuplas, RTDs, termistores, convierten la temperatura en voltaje o resistencia. Otros ejemplos incluyen a medidores de deformación, transductores de flujo, transductores de presión, los que convertirán la fuerza aplicada, la velocidad de un fluido y la presión en señales eléctricas, respectivamente. En cada caso, la señal eléctrica producida variará de acuerdo al parámetro físico monitoreado.

### 2.5.1 Características básicas de un sensor

#### Sensibilidad

La sensibilidad del sensor corresponde a la pendiente de la curva característica de salida ( $dy/dx$  en la figura 8) o, más generalmente, la entrada mínima de un parámetro físico que provocará un cambio detectable en la salida.

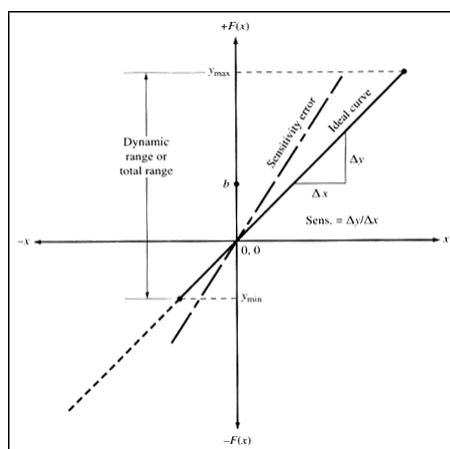


Figura 8. Curva ideal y error de sensibilidad.

Fuente: Carr. J, *Sensor and Circuits*

La sensibilidad de un sensor determina el cambio de parámetros de entrada requerido para producir un cambio de salida estandarizado; en el área de la ingeniería eléctrica, la sensibilidad se define como un cambio de voltaje de salida para un cambio dado en el parámetro de entrada. Por ejemplo, un transductor de temperatura típico puede tener un grado de sensibilidad de  $10 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$ , es

decir, habrá una tensión de salida de 10 mV para cada grado Celsius aplicado al dispositivo.

### Error de sensibilidad

El error de sensibilidad es la desviación de la pendiente ideal en la curva característica del sensor.

### Rango

El rango del sensor es el valor del parámetro aplicado que puede ser medido por el mismo, y se encuentra delimitado por un máximo y mínimo. Por ejemplo, un sensor de temperatura puede tener un intervalo de medición entre  $-20^{\circ}\text{C}$  y  $150^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto su rango será, “de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$ ”. Como en el ejemplo, es frecuente que los rangos positivo y negativo sean desiguales. En el caso de la figura 8 el rango del sensor está comprendido entre y min e y max.

Esta especificación es común y determinante en la elección del sensor, pues el mismo debe ser capaz de medir la variable deseada en todo el rango de valores posible. La introducción de un valor físico fuera del rango, puede destruir el sensor.

### Rango dinámico.

El rango dinámico es el rango total desde el mínimo al máximo. En términos de la figura 8, el rango dinámico será  $R_{dyn} = y_{max} + |y_{min}|$ . Para el caso del ejemplo presentado, el rango dinámico será entonces de  $170^{\circ}\text{C}$ .

### Precisión.

El concepto de precisión determina que tan reproducible es una medición. En otras palabras, si exactamente el mismo valor fue medido varias veces, un sensor ideal produciría exactamente el mismo valor cada vez.



Sin embargo, los sensores reales emiten un rango de valores distribuidos de alguna manera en relación con el valor real correcto. Por ejemplo, supongamos que se aplica una temperatura de exactamente 100 °C a un sensor; incluso si la temperatura aplicada se mantiene constante, los valores de salida del sensor variarán dentro del rango de precisión.

### Resolución.

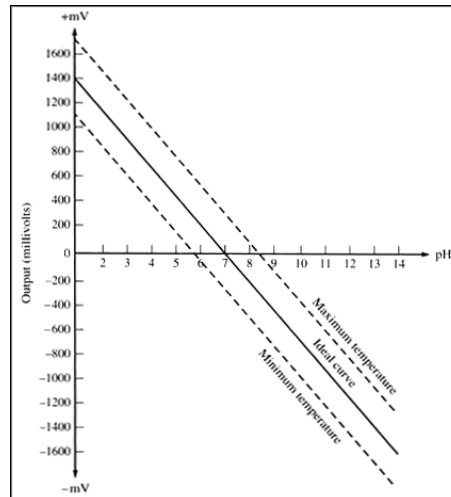
Es la variación más baja de la variable de entrada que puede ser detectada por el sensor. Es decir, la resolución es el cambio más pequeño detectable del parámetro de entrada que provoca una variación en la señal de salida.

### Exactitud.

La exactitud o precisión del sensor es la máxima diferencia que existirá entre el valor real y el valor indicado en la salida del sensor. La precisión se puede expresar como un porcentaje de la escala completa o en términos absolutos.

### Error de offset

El error de offset de un sensor se define como el valor de salida que existirá cuando debería ser cero. Es también la diferencia entre el valor de salida real y el valor de salida especificado bajo un conjunto particular de condiciones. En otras palabras, el error de offset corresponde al desplazamiento que existe entre la curva del valor real y el valor medido por el sensor.

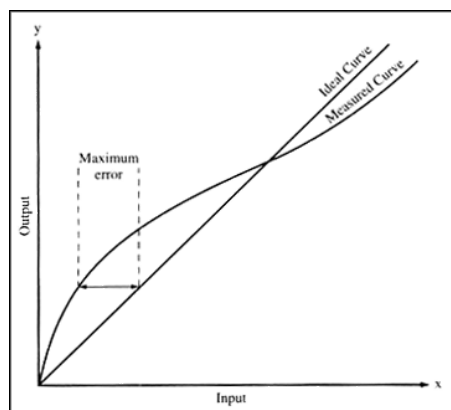


*Figura 9. Offset de la señal. Desplazamiento de la medida real*

*Fuente: Carr. J, Sensor and Circuits*

## Linealidad

La linealidad del transductor es una expresión de la medida en que la curva real medida de un sensor se aparta de la curva ideal. La Figura 10 muestra una relación entre la curva ideal de medida y la línea de medición o calibración real.



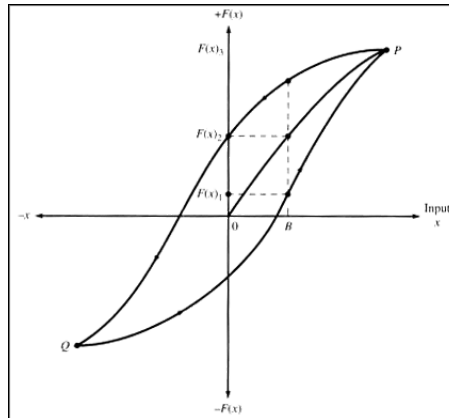
*Figura 10. Curva ideal y curva de medida real.*

*Se muestra el error de linealidad*

*Fuente: Carr. J, Sensor and Circuits*

## Histéresis

Un transductor debe ser capaz de seguir los cambios del parámetro de entrada independientemente de la dirección en la que se realiza el cambio; la histéresis es la medida de esta propiedad. (Carr, 1997).



*Figura 11: Curva de histéresis*

*Fuente: Carr. J, Sensor and Circuits*

La figura 11 muestra una curva de histéresis típica. Tenga en cuenta que importa desde qué dirección se realiza el cambio. El acercamiento a un valor de entrada fijo (punto B en la figura 11) de un valor más alto (punto P) dará como resultado una indicación diferente de acercarse al mismo valor desde un valor inferior (punto Q o cero). Obsérvese que el valor de entrada B puede ser representado por  $F(x)_1$ ,  $F(x)_2$  o  $F(x)_3$  dependiendo del valor inmediato anterior

La histéresis provocará siempre un error en la medición.

### Tiempo de respuesta.

En un sensor ideal, el estado o el valor de salida cambiará de manera simultánea cuando se produzca un cambio en la variable física medida, sin embargo, en los sensores reales, el estado de salida no cambia inmediatamente cuando ocurre un cambio del parámetro de entrada, sino después de un período de tiempo, llamado tiempo de respuesta ( $T_r$  en la Figura 12). El tiempo de respuesta se puede definir como el tiempo requerido para que una salida del sensor cambie de su estado anterior a un valor final.

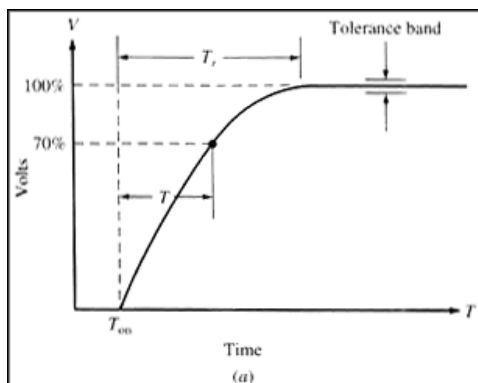


Figura 12: Tiempo de respuesta – ascendente

Fuente: Carr. J, Sensor and Circuits

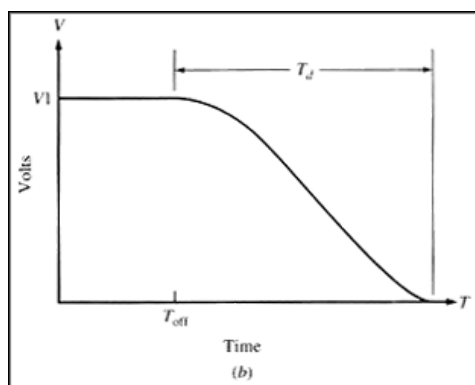


Figura 13: Tiempo de respuesta - descendente

Fuente: Carr. J, Sensor and Circuits

Las curvas de las Figuras 12 y 13 muestran dos tipos de tiempo de respuesta. En la figura 12, la curva representa el tiempo de respuesta después de un cambio brusco de la función escalonada positiva del parámetro de entrada. La forma mostrada en la Figura 13 es un tiempo de descenso ( $T_d$  para distinguir de  $T_r$ , ya que no son siempre los mismos) en respuesta a un cambio de función de paso negativo del parámetro de entrada.

### Linealidad dinámica.

La linealidad dinámica del sensor es una medida de su capacidad para seguir cambios rápidos en el parámetro de entrada. Las características de distorsión de amplitud, distorsión de fase y el tiempo de respuesta son importantes para determinar la linealidad dinámica. (Carr, 1997).

En un sistema de baja histéresis, la respuesta de amplitud está representada por:

$$f(x) = ax + bx^2 + cx^3 + dx^4 + \dots + k$$

En esta ecuación, el término  $f(x)$  representa a la señal de salida, mientras que los términos  $x$  representan el parámetro de entrada y sus armónicos;  $K$  es una constante de offset.

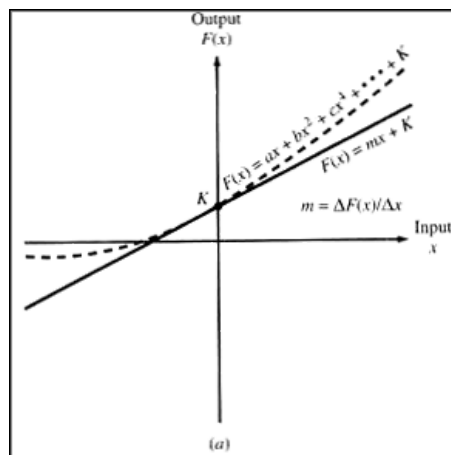


Figura 14. Señal de salida versus señal de entrada

Se muestra un error cuadrático

Fuente: J.J. Carr, *Sensors and Circuits* Prentice Hall.

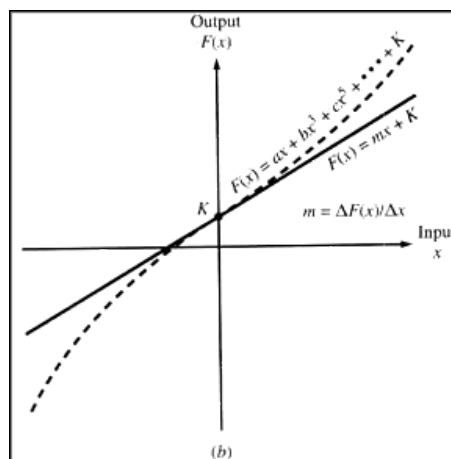


Figura 15. Señal de salida versus señal de entrada

Se muestra un error cúbico

Fuente: J.J. Carr, *Sensors and Circuits* Prentice Hall.

### 2.5.2 Sensores de temperatura

Para la transducción de la variable física temperatura, existen esencialmente dos tipos de sensores, los sensores de contacto y los sensores de no contacto. Los sensores de contacto requieren que el sensor se ubique directamente sobre la superficie a medir, y pueden ser empleados para el monitoreo de la temperatura en sólidos, líquidos o gases, en un amplio rango de temperaturas. Los sensores de no contacto, interpretan la energía radiante de una fuente de calor en la porción infrarroja del espectro electromagnético; este método es útil en sólidos no reflectivos y líquidos, pero no es efectivo para la medida de temperatura en gases debida a su característica natural de transparencia. Para el caso de esta tesis, nos concentraremos en el análisis de un tipo específico de sensores de temperatura de contacto.

La medición de temperatura requiere la transmisión de una porción de la energía térmica del objeto o medio de interés hacia el sensor. Cuando un sensor es colocado dentro de o sobre el objeto de interés, se produce una conducción térmica a través de la interface entre el objeto y la sonda de prueba o la superficie del sensor. El elemento sensor sufrirá entonces, por transferencia térmica, un incremento o decremento en su temperatura.

Considerando que el intercambio de calor entre el objeto y el sensor no se realizará de manera instantánea, siempre existirá un intervalo de tiempo requerido para la estabilización de la medida de esa temperatura.

### 2.5.3 Sensores de humedad.

Los sensores de humedad, son dispositivos que tienen la capacidad de medir la cantidad de agua en el suelo, mediante la aplicación de una pequeña tensión eléctrica entre los terminales del mismo que permite la circulación de una corriente, la cual depende, por Ley de Ohm<sup>4</sup>, de la resistencia del suelo, la que

---

<sup>4</sup> La Ley de Ohm determina que al aplicar una tensión eléctrica a una resistencia, se producirá una circulación de corriente por la misma, cumplimento la siguiente relación  $V = R \times I$ .

varía con el contenido de agua presente; existe una relación directamente proporcional entre el porcentaje de humedad y la cantidad de corriente.

## 2.6 Aplicación práctica de Internet de las Cosas IoT en agricultura, ganadería y ambiente.

Internet de las cosas IoT, posee una evolución impresionante en los últimos años, prácticamente hoy incluye cualquier área o actividad cotidiana que podamos imaginar; el principal inconveniente radica en los costos elevados de sensores y dispositivos; sin embargo si estos contaran con costos asequibles los productores podrían tener a su alcance el monitoreo del estado de sus cultivos, o de su hato.

### 2.6.1 Agricultura.

IoT ha iniciado su desarrollo de manera acompasada, probablemente por ser un área en la que la evolución tecnológica no ha sido prioridad, sin embargo se suman esfuerzos, para evolucionar la manera de trabajo de los agricultores. Por este motivo las aplicaciones de IoT parten de actividades como: monitorear cultivos, control automático de riego, protección contra heladas, ventilación, fertilización, incorporación de insumos orgánicos, e incluso la implementación de herramientas de soporte para la toma de decisiones. Lo que nos permite imaginar, que la agricultura inteligente, se convertirá en el campo de aplicación más importante en los países eminentemente agrícolas.

### 2.6.2 Ganadería.

A los productores pecuarios la implementación de IoT les permitirá contar con un control más exacto de su producción; podrán utilizar sensores que controlen las condiciones edáficas humedad, temperatura e indicadores químicos de los potreros en tiempo real, detectando tempranamente los problemas y

permitiéndoles tomar decisiones afines a la situación en un período del año determinado.

### 2.6.3 Ambiente.

La degradación del ambiente, encabeza el listado de los principales problemas que preocupan a las administraciones estatales, organizaciones sociales y empresas alrededor del mundo. IoT puede tomar posesión para disminuir, pugnar y expeler los delitos ambientales.

Los sensores conectados a los dispositivos, pueden recoger información importante, sobre ciertos indicadores ambientales, como la calidad del suelo, agua y aire, la polución sonora, los niveles de contaminación, CO<sub>2</sub>, pronosticar cambio climático, gestión de residuos, etc. Estos datos podrán ser utilizados para controlar el cumplimiento de las normativas ambientales.

Existen cifras acerca del uso erróneo que generan los consumidores de los recursos, sobre todo por la falta de información sobre el uso de energía, eficiencia en las horas de trabajo o por el traslado diario a sus distintas actividades; IoT es la alternativa propuesta como solución a varios problemas del medio ambiente, varios casos exitosos como Pacific Northwest National Laboratory permitió a sus abonados controlar sus electrodomésticos conectados a la Internet, encendiéndolos o apagándolos cuando era necesario, la iniciativa IBM Smart Planet permite un ahorro del coste de energía del 10%, reducción de un 20% en la circulación de vehículos y la reducción del 12% de emisiones. (Horn, 2010)

Otro aporte de IoT con el ambiente, es la incorporación de las famosas “Smart Grid” en los edificios, que permiten optimizar la generación y el consumo de energía mediante el uso de un conjunto de medidores inteligentes, que eligen las franjas horarias y discriminan los horarios de consumo, provocando un consumo racional y económico; en países industrializados, los edificios consumen  $\pm 70\%$  de toda la energía eléctrica, y aproximadamente el 50% es mal gastada;



adicionalmente también existe un desperdicio del 50% del recurso hídrico destinado para consumo.

A nivel mundial, existe la necesidad de controlar de manera eficiente todos los espacios, y por ello se ingenian alternativas que permitan un mejor estilo de vida compatible con el medio ambiente; países ambientalmente responsables trabajan y presentan alternativas viables como “GreenSpaces” en India, el proyecto “Smart IPv6 building” en Suiza, el proyecto “Dubuque 2.0” en Estados Unidos. Finalmente, se destaca el dispositivo Ambient Devices’ Energy Orb, programado para cambiar de color, según la información que requiera presentar sobre el estado de la red inteligente, de esta manera, los consumidores sabrán los horarios en los que deben evitar el uso en el consumo de los servicios básicos en sus hogares. (López.et al. 2009).

## 2.7 Suelo.

El suelo es el resultado de la recopilación de cuerpos naturales sobre la superficie de la tierra, está compuesto principalmente por minerales, materia orgánica, líquidos y gases, además ocupa un espacio y se caracteriza por tener horizontes diferenciados, es considerado como el resultado de las adiciones, pérdidas, translocaciones y transformaciones de materia y energía. (Soil Survey Staff, 1999).

### 2.7.1 Caracterización.

La caracterización física de un suelo, se fundamenta en el estudio de la distribución de las fases sólida, líquida y gaseosa, expresadas en unidades volumétricas.

### 2.7.2 Análisis de suelo.

El análisis del suelo, es una herramienta de gran utilidad, que permite cuantificar las propiedades edáficas que se analizan, para prevenir o buscar soluciones adecuadas para los suelos un área determinada.

### Muestra de suelo.

La muestra de suelo, es una porción pequeña que representa el volumen que éste ocupa en el campo en un área y profundidad determinadas y que es uniforme en cuanto a pendiente, vegetación, material parental, clima, grado de erosión, uso y manejo.

De acuerdo a la forma de obtenerlas y la preparación posterior en el laboratorio para su análisis se clasifican en:

### Muestras alteradas.

Estas muestras no requieren una forma especial de muestreo, ya que en el laboratorio el conjunto de los análisis físicos, mineralógicos y químicos, se hacen sobre muestra secada al aire, molida y tamizada.

### Muestras sin alterar.

Estas muestras son tomadas, empacadas y se manejan de tal manera que mantienen intactas las condiciones de campo casi en su totalidad, y que son requeridas para su análisis posterior.

### Tipos de Muestras.

#### Muestras simples.

Una muestra simple, es una muestra individual de un volumen de suelo, recolectada de cada horizonte o sub-horizonte cuando el muestreo del perfil de suelo se realiza en calicata; este tipo de muestra puede ser alterada o sin alterar según las especificaciones y propósito de estudio de la investigación.

## Muestras compuestas.

Una muestra compuesta, está formada por el conjunto de muestras simples o sub-muestras, recolectadas a una profundidad determinada, al azar o en red.

### 2.7.3 Densidad Aparente.

La densidad aparente, es la relación que existe entre la masa contenida en una unidad de volumen y el peso seco de una muestra de suelo, incluyendo los hoyos y los poros, los contengan o no.

### 2.7.4 Textura.

La textura del suelo permite inferir el comportamiento de características relevantes como el movimiento de agua en el perfil, la facilidad de manejo y la cantidad de nutrientes.

La textura se define como la proporción relativa en peso en que se encuentran en una masa de suelo las distintas fracciones granulométricas con diámetro inferior a 2 mm, agrupadas por tamaño. Es decir hace referencia a los porcentajes en los que se encuentran distribuidas las partículas elementales que lo conforman; según su tamaño, porosidad y absorción pueden clasificarse en 3 grupos básicos arena, arcilla y limo.

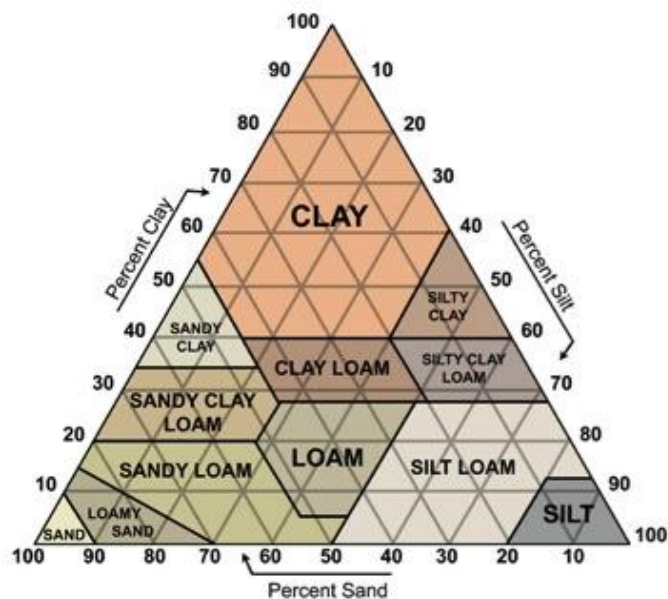


Figura 16. Triángulo textural. USDA.

Fuente: <http://www.adjuntasplace.blogspot.com/p/los-suelos.html>

Están reconocidas doce clases texturales: arenoso, areno franco, franco arenoso, franco, franco limoso, franco arcilloso, limoso, franco arcilloso limoso, franco arcillo arenoso, arcillo arenoso, arcillo limoso y arcilloso.

### 2.7.5 Materia orgánica MO.

La MO de un suelo, se concentra en el horizonte superficial y disminuye gradualmente con la profundidad; la cantidad presente en el suelo, varía de acuerdo con la textura; es el producto de la interacción de los factores edafogénéticos en un tiempo determinado. Intermedian factores como el material parental, el clima, el relieve, el bioma, manejo y uso del suelo.

Al incorporar restos orgánicos de origen vegetal o animal, los microorganismos presentes en el suelo trabajan para transformar estos complejos compuestos, en nutrientes minerales que pueden ser asimilados por las plantas; sin embargo este proceso es lento, y por tanto la MO no simboliza una fuente inmediata de macro y micro nutrientes para las plantas, más bien se convierte en una reserva de nutrientes para su liberación lenta en el suelo.

La cantidad de materia orgánica presente en el suelo, es expresada en porcentaje en relación al peso del suelo; en el análisis de laboratorio es complicado separar los componentes orgánicos e inorgánicos contenidos, por lo que se realiza el análisis de carbono principal componente de todas las sustancias orgánicas.

#### 2.7.6 Curva de retención de humedad pF.

La curva de retención de humedad, es definida como la relación existente entre la tensión y el contenido de humedad en el suelo; la tensión se expresa como el valor logarítmico del potencial matricial, expresado en centímetros de agua equivalentes y en valores absolutos; esta relación no lineal está afectada por el fenómeno de histéresis<sup>5</sup>. (Koorevaar, et al., 1983)

Las curvas pF, son utilizadas para determinar el índice de humedad disponible en el suelo, permiten determinar el espacio poroso por el cual se puede drenar e indican los cambios en la estructura de un suelo. (Stakman, 1980)

#### 2.7.7 Potencial Hidrógeno pH

La lectura de pH hace referencia a la concentración de iones hidrógeno activos ( $H^+$ ) en el suelo, como resultado de la interacción de los componentes sólidos y líquidos; es expresado en la escala de pH con números positivos del 0 al 14; su medición establece tres rangos: acidez (0 – 6,9), neutro (7) y alcalinidad (7,1 – 14). (INECC, 2009).

#### 2.7.8 Conductividad eléctrica CE

La CE está definida por la valencia de los iones presentes en las soluciones y determina la capacidad de conducción de corriente eléctrica de las mismas.

---

<sup>5</sup> Fenómeno por el que el estado de un material depende de su historia previa y se manifiesta por el retraso del efecto sobre la causa que lo produce.

Mediante la determinación de la conductividad eléctrica se conoce de manera indirecta la salinidad del agua o de los extractos de suelo. (INECC, 2009).

### 2.7.9 Saturación

La saturación, indica el contenido de agua en el suelo cuando los espacios de aire son reemplazados por moléculas de agua.

En suelos con un buen drenaje, la saturación es un estado temporal, ya que el exceso de agua se elimina de los poros grandes por influencia de la gravedad.

### 2.7.10 Método Gravimétrico

El método gravimétrico, es un tipo de método geofísico, conformado por el conjunto de pruebas que se realizan para la determinación de las características de un suelo. Consiste en la medición precisa de la aceleración de la gravedad en diferentes puntos, registrando variaciones anómalas de dicha aceleración, que pueden suponer cambios bruscos en la densidad de un terreno; por tanto la gravimetría, es un método directo de análisis de la cantidad de agua en el suelo, la cual es considerada un factor concluyente en las diferentes etapas de desarrollo de los cultivos; es una técnica estándar para conseguir datos referenciales del contenido de agua en el suelo y para la construcción de las curvas de calibración, cuando se utilizan otros métodos y equipos.

La muestra de suelo al llegar al laboratorio es pesada, para luego llevarla a un horno a una temperatura entre los 105° - 110°C, por un período de 24 – 48 horas, hasta obtener el peso constante de la muestra. Los resultados de la gravimétrica se expresan como la relación que existe entre masa de agua con la masa de suelo, o la relación entre el volumen de agua y el volumen de suelo.

Ventajas y limitaciones del método gravimétrico.

Ventajas.

- Es económico.
- Es sencillo.
- Requiere equipos poco costosos y comunes.
- No necesita calibración.
- No implica riesgos.
- Usado como método de referencia para la calibración de otros métodos y equipos.

#### Limitaciones.

- Es un procedimiento extractivo y destructivo, por tanto el perfil de suelo es alterado.
- Las investigaciones en áreas pequeñas o por un período prolongado de tiempo alteran las condiciones reales del suelo.
- La toma de muestras se las realiza en sitios diferentes aunque cercanos al anterior.
- Las muestras son pequeñas para evitar alterar el sitio de muestreo.
- Requiere de gran esfuerzo en perfiles profundos.
- El tiempo mínimo para obtener resultados son 24 horas.
- Este procedimiento no es recomendado en suelos con alto contenido de materia orgánica.
- Para expresar los resultados en fracción volumétrica, es necesario determinar la densidad aparente.

#### 2.7.11 Capacidad de Campo CC

La CC, es la capacidad de retención de agua que tiene el suelo, luego de haber sido saturado. Se aplica en suelos bien estructurados es decir suelos en los cuales el drenaje del exceso de agua es rápido; el drenaje ocurre por la transmisión del agua a través de los poros mayores de 0,05 mm de diámetro, sin embargo, puede corresponder a poros que varían entre 0,03 y 1 mm de diámetro.

El suelo a capacidad de campo se siente muy húmedo en contacto con las manos.

#### 2.7.12 Punto de Marchitez Permanente PMP.

El PMP, hace referencia al estado en el cual el cultivo no puede absorber agua del suelo. Una vez que el cultivo se encuentra en PMP su recuperación es imposible aunque este sea sometido al contacto con un suelo saturado de agua.

#### 2.7.13 Variables edáficas.

##### Humedad.

La humedad, es un fenómeno natural presenta a nivel molecular, se encuentra relacionada con la cantidad de moléculas de agua presentes en un determinado cuerpo o sustancia, que pueden estar en estado sólido o gaseoso.

El contenido de humedad, se define como la relación entre el peso de agua contenida en la muestra en estado natural y el peso de la muestra después de ser secada. El contenido de agua de un suelo permite explicar el comportamiento de este en cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica, etc.

##### Temperatura.

La temperatura, es una propiedad con un efecto importante sobre los procesos bióticos y los procesos de alteración química de la fracción mineral del suelo. La proporción de energía solar que llega al suelo se estima en 144 cal/día/cm<sup>2</sup>, pero esta cantidad varía según la latitud y la época del año, etc. La energía calorífica recibida en el día eleva la temperatura del suelo y evapora el agua y por la noche ocurre el efecto contrario. Por lo tanto ocurre una oscilación diurna de temperatura que es característica de cada suelo. (Douchafour, 1987).



La temperatura del suelo, obedece a una serie de variables intrínsecas como color, humedad, drenaje, renovación de la atmósfera del suelo, etc., y extrínsecas como humedad atmosférica, nubosidad, partículas en suspensión en la atmósfera, precipitación, viento, relieve, vegetación, etc.

La temperatura del suelo agrícola, condiciona los procesos microbianos que se desarrollan e influye en la absorción de los nutrientes, especialmente del fósforo, la cual es menor en suelos fríos.

## 2.8 Equipos comerciales comúnmente empleados para el registro de información

### 2.8.1 Sensor TDR CS625.

El sensor CS625, mide el contenido volumétrico de agua en un medio poroso, utilizando el método de medición en el dominio del tiempo, es decir consiste en la generación del impulso electromagnético, el tiempo de recorrido transcurrido, y la reflexión de pulso se miden y se utilizan para calcular el contenido volumétrico de agua en el suelo.

#### Ventajas.

- Alta exactitud y precisión.
- Tiempo de respuesta rápido.
- Diseñado para monitoreo de contenido de agua a largo plazo.
- Las varillas de sonda pueden ser insertadas desde la superficie o ser enterradas en cualquier orientación.



Figura 17. Sensor CS625.

Fuente: <https://www.campbellsci.com.au/cs625>

Datos Adicionales	
Sensor TDR CS625 para medir la humedad en el suelo.	Adecuación en el suelo: Las barras largas y la frecuencia más baja son adecuadas para suelos blandos con baja conductividad eléctrica ( $<2$ ds/m).
	Varillas no reemplazables.
	Sensores no intercambiables.
	Rango de temperatura de funcionamiento $0 - 70^{\circ}$ C.
	Precisión $0.1\%$ VWC.
	Salida $0 - 3.3$ V onda cuadrada (frecuencia depende del contenido de agua)
	Corriente de drenaje $65$ mA @ $12$ Vddc (activado), $45$ $\mu$ A (reposo)
	Tensión de alimentación: mínima $5$ Vdc y máxima $18$ Vdc
	Espaciado entre varillas $32$ mm
	Diámetro de la varilla $3.2$ mm
	Longitud de la varilla $300$ mm.

	Dimensiones de la parte superior de la sonda 85 x 63 x 18 mm.
	Peso del cable 35 g por metro
	Peso 280g (sin cable)

*Tabla 1. Datos Adicionales sensor CS625*

*Fuente: Autora.*

## 2.8.2 Datalogger CR300.



*Figura 18. Datalogger CR300.*

*Fuente: <https://www.campbellsci.com.au/news-16-q1-cr300>*

El datalogger CR300, es un dispositivo multipropósito, utilizado con frecuencia para pequeñas aplicaciones que requieran monitorización y control a largo plazo, es un datalogger de nivel básico, pero potente en su conjunto de instrucciones, es compatible con la mayoría de sensores utilizados en meteorología, industria, hidrología y medio ambiente. Almacena la data y la pone a disposición mediante una variedad de redes y protocolos. El datalogger CR300 también realiza la toma de decisiones automáticas en el lugar o remotamente para control y comunicaciones M2M. (Campbell Scientific, CR300-Series Datalogger).

### Ventajas.

- Fácil configuración mediante PC, conectividad USB y software.

- Instrumento de calidad a un precio asequible.
- Construcción robusta.
- Tamaño pequeño.
- Confiable con sensores analógicos y digitales.
- Mide directamente la señal 4 – 20 mA.
- Conexión para Internet, web.
- Posee la opción radio para comunicaciones inalámbricas on otros nodos de la red, y puerta de enlace a la Internet.
- Conversor de analógico a digital de 24 bit.
- CR300 – Wi Fi ideal for short – range, Wireless IP communication.

Datos Adicionales	
Datalogger CR300.	CPU: ARM Cortex M4, running at 144 MHz
	Memoria interna: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 30MB flash para almacenar data</li> <li>• 80 MB flash para drive CPU / Programas</li> <li>• 2 MB flash para sistema operativo</li> </ul>
	Precisión reloj $\pm 1$ min/mes
	USB Micro B2.0 full speed, 12 Mbps
	Mejor precisión analógica $\pm(0.04\%$ of reading $\pm 6 \mu\text{V}$ ) at 0 – 40 °C
	Mayor resolución efectiva 0.23 $\mu\text{V}$ ( $\pm 34$ mV range, differential measurement input reversal 50/60 Hz fN1.
	Rango de temperatura funcionamiento – 40 to +70 °C.
	Dimensiones 14.0 x 7.6 x 4.6 cm (5.5 x 3.0 x 1.8 in)
	Peso 242 g
	Tipo de radio Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
	Frecuencia 902 to 928 MHz
	Velocidad RF 200 kbps
	Consume adicional medido @ 12 Vdc: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 45 mA transmit</li> <li>• 12 mA idle on</li> <li>• 4 mA idle 0.5 s power mode</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>• 3 mA idle 1 s power mode</li><li>• 1.5 mA idle 4s power mode</li></ul>

*Tabla 2. Datos Adicionales Datalogger CR300*

*Fuente: Autora.*

## Capítulo 3.

### Materiales y Métodos.

El diseño, la implementación y el ensamblaje del dispositivo VBM 384, se desarrolló empleando ingeniería local.

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación se han previsto dos fases:

- Calibración del dispositivo.

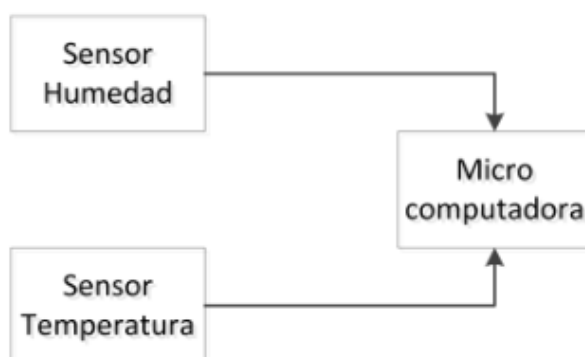


Figura 19. Diagrama Fase 1. Calibración.

Fuente: [Autora](#).

- Transmisión de datos a la Internet.

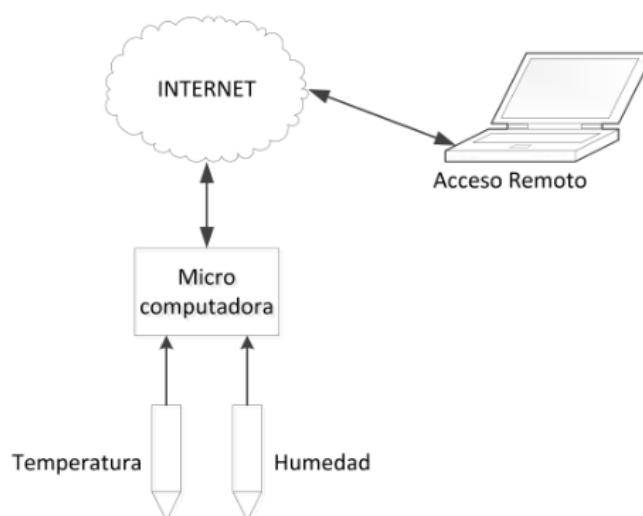
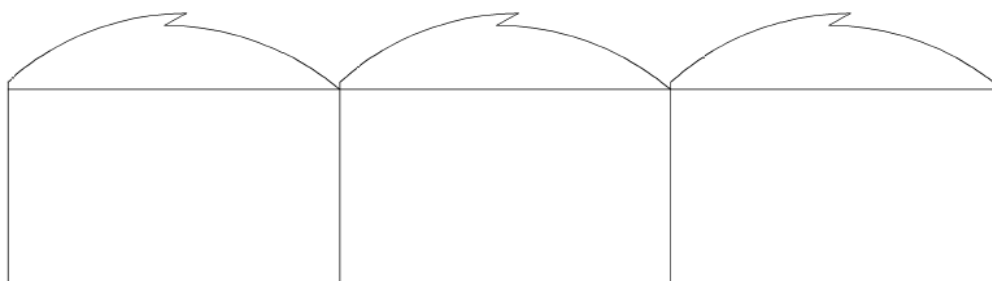


Figura 20. Diagrama Fase 2. Transmisión de datos a la Internet.

Fuente: [Autora](#).

### 3.1 Descripción ambiental del sitio experimental

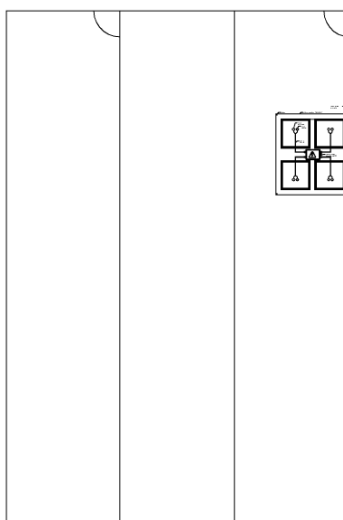
El experimento fue emplazado en el invernadero ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, a 2570 m.s.n.m. ubicado geográficamente a una latitud  $2^{\circ}55'14.0''\text{S}$ , y una longitud de  $79^{\circ}01'29.0''\text{O}$ ; el invernadero es del tipo multicapilla posee una estructura metálica recubierta con plástico de polietileno PE con un espesor de 0.125 mm; además consta de tres naves y una extensión total de  $400\text{m}^2$ ; está destinado para las prácticas agrícolas de propagación de especies para ornamentación y floricultura de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Agronómica.



*Figura 21. Ubicación del experimento. Vista frontal – Invernadero.*

*Fuente:* [Autora.](#)

El área que se utilizó para el experimento se encuentra localizada en la primera nave del invernadero, a lado izquierdo a una distancia de 4.16 m desde la puerta de ingreso, la extensión total es de  $8.68\text{ m}^2$ , distribuida de la siguiente manera:



*Figura 22. Ubicación del experimento. Vista superior.*

*Fuente:* Autora

Se realizarán cuatro excavaciones, en donde se colocarán las bases metálicas y sobre estas las macetas que cuentan con un sistema de drenaje y están revestidas con una membrana impermeable, en cada una se colocará medio metro cúbico de suelo homogenizado, y en su interior se dispondrán los sensores de humedad y temperatura para su monitoreo automático.

### 3.2 Caracterización del suelo experimental.

El suelo que se utilizó en el experimento es propio del invernadero, se lo obtuvo de la excavación previa a la disposición de las bases y macetas. De las cuatro macetas experimentales se tomaron submuestras de suelo, y luego de homogenizarlas se obtuvo una muestra compuesta de 500 gr que se envió al laboratorio para el análisis físico de MO, textura, densidad, pH, C.E, PF, resultados que permitieron conocer las propiedades físicas del suelo con el que trabajamos.

### 3.3 Descripción del Dispositivo VBM384.

El dispositivo VBM384 es un equipo tecnológico ideado, diseñado y construido en la ciudad de Cuenca, que permite captar la información de las variables físicas de humedad y temperatura en tiempo real, almacena esa información y permite el acceso a la misma in situ a través de una conexión física, realizando las veces de un datalogger, además, realiza el envío de información a través de la Internet, permitiendo así el monitoreo constante de las variables que son medidas por este dispositivo, con el objeto de permitir el monitoreo del estado actual, además del comportamiento histórico de las variables, desde cualquier lugar del mundo.

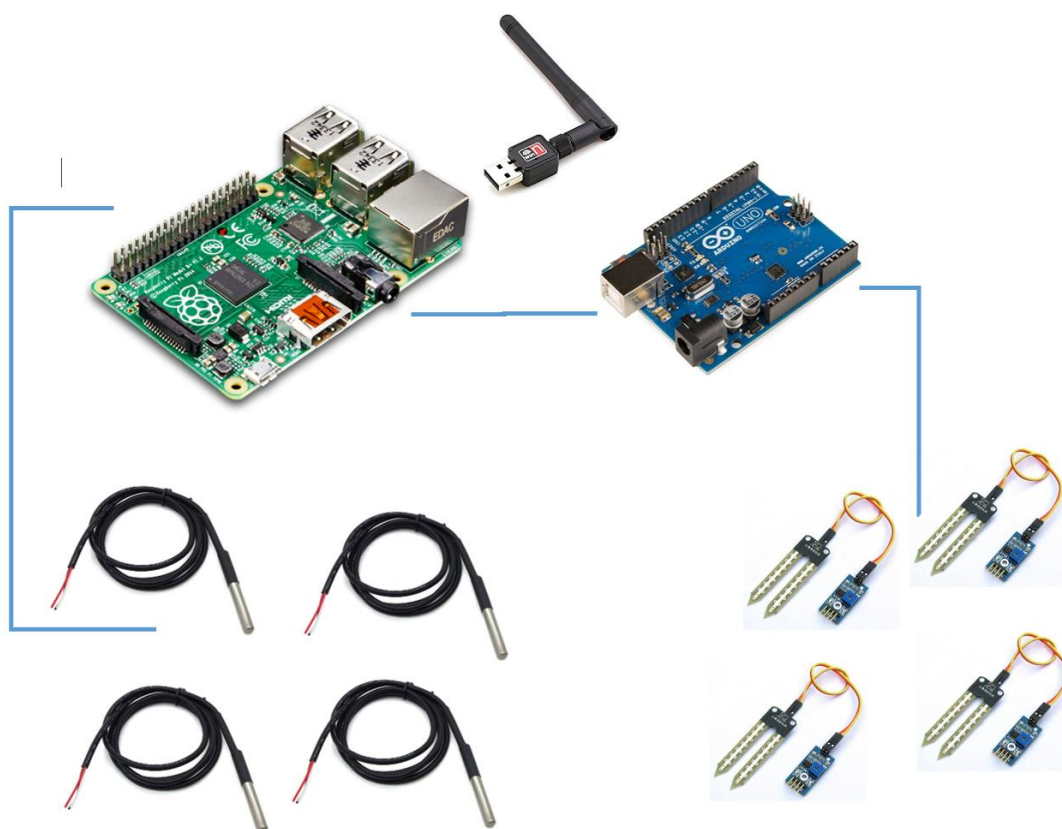
#### 3.3.1 Integración del Hardware VBM384

El hardware del dispositivo VBM384 se encuentra integrado por los siguientes elementos:



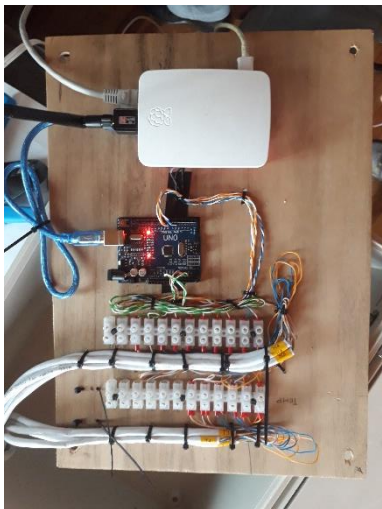
- Tarjeta Raspberry Pi 2 B: cumple las funciones de computador principal
- Tarjeta Arduino UNO: cumple las funciones de conversor analógico – digital
- Módulo USB – WiFi: Permite la conexión de la Raspberry Pi a Internet mediante una red WiFi
- Sensores YL-69: Miden la humedad de cada una de las macetas aisladas que forman parte del experimento
- Sensores DS18B20: Miden la temperatura de cada una de las macetas aisladas que forman parte del experimento

La energía para la operación del sistema se obtiene de la red eléctrica, a través de una fuente de 5 VDC / 2A.



*Figura 23. Arquitectura de hardware de dispositivo VBM384*

*Fuente: Autora.*



Figura



24.

Integración de Hardware.

Fuente: Autora.

3.3.2 Sensor de Temperatura DS18B20.

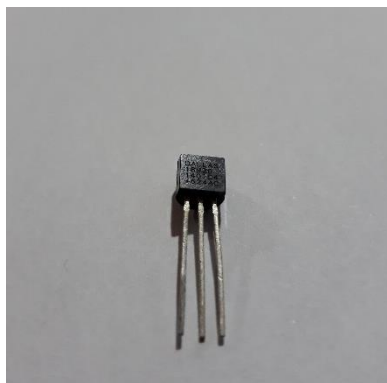
El sensor de temperatura DS18B20, es un dispositivo que se comunica de manera digital. Cuenta con tres terminales: Vcc (cable rojo), GND (cable negro), y el pin Data (cable amarillo o blanco). El DS18B20 utiliza comunicación OneWire, protocolo que le permite enviar y recibir data.

DATOS ADICIONALES	
Sensor DS18B20	Sensor digital
	Resolución de 9 y 12 bits
	Rango de operación de – 50 a 125 °C
	Precisión ±0.5°
	Protocolo OneWire

Tabla 3. Datos Adicionales Sensor DS18B20

Fuente: Autora.

Para el correcto funcionamiento de este sensor se requiere conectar una resistencia de 4.7kΩ entre los pines Data y Vcc; el DS18B20 requiere un blindaje metálico y la conexión a un cable de longitud considerable que permita su instalación directa en sustancias o líquidos.



Figura



25.

Sensor DS18B20.

Fuente: Autora.

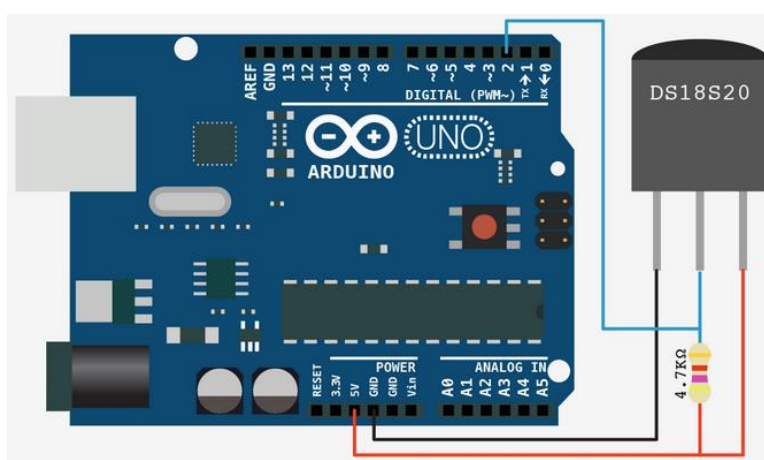


Figura 26. Diagrama de conexión de Arduino UNO y sensor DS18B20

Fuente: <https://www.hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-de-temperatura-ds18b20/>

### 3.3.3 Sensor de Humedad.

El sensor de humedad YL – 69, consiste en una sonda formada por dos terminales de material conductor. La sonda se conecta a un módulo YL – 38 que contiene un circuito comparador LM393. Para medir la humedad en el suelo se aplica una pequeña tensión eléctrica entre los terminales del sensor, estos se encargan de provocar la circulación de una corriente eléctrica cuyo valor depende de la resistencia del suelo, la misma que varía en función de la humedad. Cuenta con cuatro terminales: Vcc (tensión de alimentación), GND

(tierra), A0 (salida analógica, entrega una tensión proporcional a la humedad), D0 (salida digital)

DATOS ADICIONALES	
SENSOR YL - 69	Sensor muy estable
	LED de encendido
	LED de activación de salida digital
	Voltaje de entrada 3.3 – 5 VCD
	Voltaje de salida 0 – 4.2 V
	Corriente 35 mA
	Dimensiones YL – 38 30 x 16 mm
	Dimensiones YL – 69 60 x 30 mm

Tabla 4. Datos Adicionales Sensor YL - 69

Fuente: Autora.

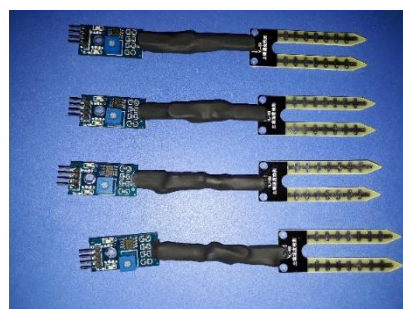
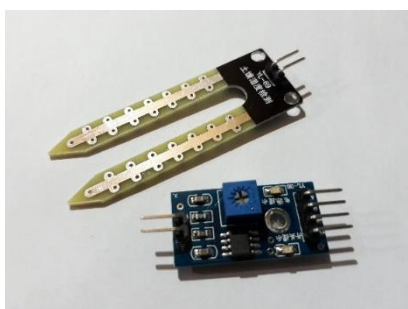


Figura 27. Sensores YL – 69/ YL – 38.

Fuente: Autora.

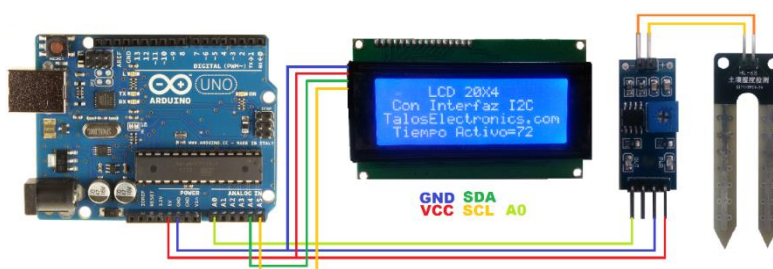
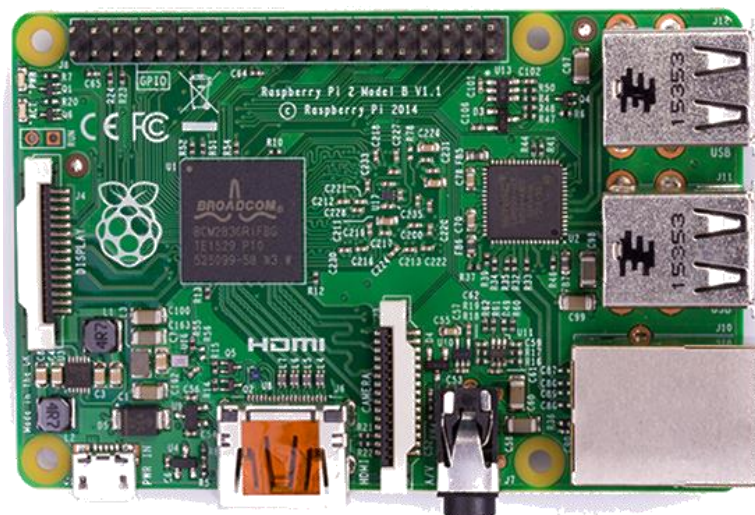


Figura 28. Diagrama de conexión de la Arduino UNO con el sensor YL – 69 y su módulo YL - 38

Fuente: [http://www.taloselectronics.com/wp-content/uploads/2016/02/Diagrama\\_sensor-de-humedad.png](http://www.taloselectronics.com/wp-content/uploads/2016/02/Diagrama_sensor-de-humedad.png)

### 3.3.4 Microcomputador. Tarjeta electrónica Raspberry Pi 2 B

El prototipo del dispositivo desarrollado, al cual se le ha denominado VBM384 utiliza como base una tarjeta electrónica Raspberry Pi 2 B, la misma que es empleada como una microcomputadora sobre la cual ha sido instalado el sistema operativo Raspbian, el mismo que consiste en una versión adaptada de Debian.



*Figura 29. Fotografía de Raspberry Pi 2 B*

*Fuente: Autora.*

La tarjeta Raspberry Pi 2 B posee las siguientes características:

- Microprocesador ARM Cortex-A7 de 900MHz quad-core
- Memoria RAM de 1GB
- 4 puertos USB
- 40 pines de entrada / salida
- Puerto full HDMI
- Puerto Ethernet
- Puerto de 3.5 mm, conector combinado de audio y video compuesto
- Interface para cámara (CSI)
- Interface para display (DSI)
- Bahía para tarjeta de memoria micro SD
- Sistema de procesamiento de gráficos VideoCore IV

Las dimensiones del dispositivo se muestran a continuación:



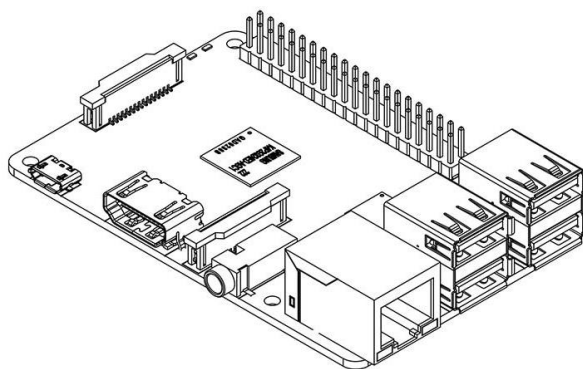


Figura 30. Vista en perspectiva de la tarjeta Raspberry Pi 2 B

Fuente: <http://www.raspiworld.com/images/other/drawings/Raspberry-Pi-1-2-3-Model-B.jpg>

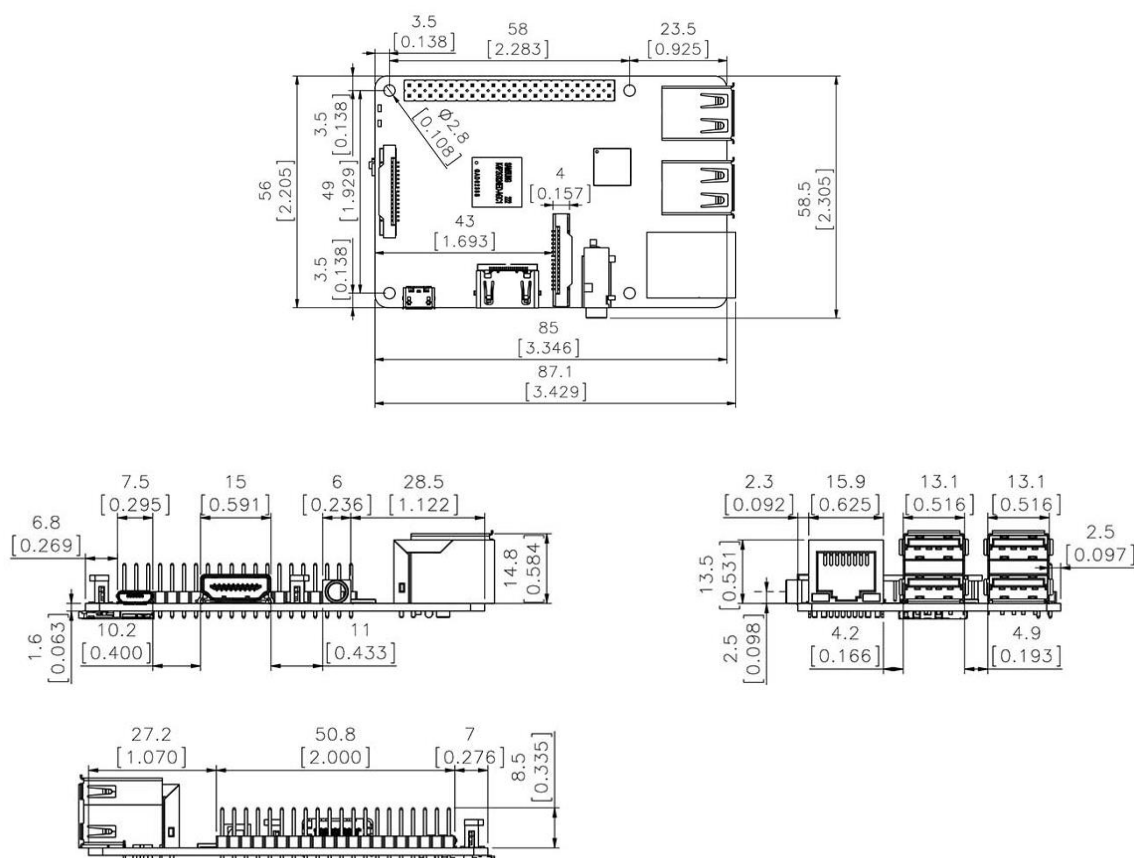
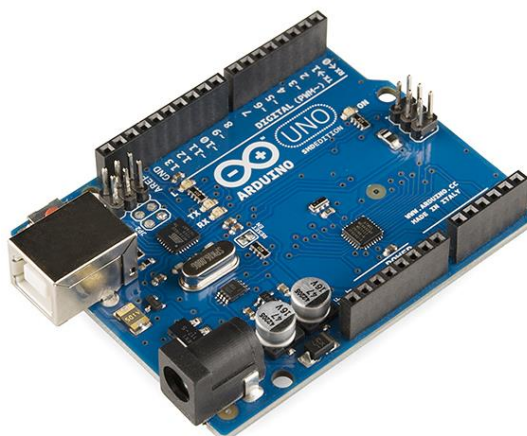


Figura 31. Dimensiones de la tarjeta Raspberry Pi 2 B.

En milímetros y en [pulgadas]

Fuente: <http://www.raspiworld.com/images/other/drawings/Raspberry-Pi-1-2-3-Model-B.jpg>

### 3.3.5 Tarjeta electrónica Arduino UNO



*Figura 32. Fotografía de Arduino UNO*

*Fuente: Autora*

La tarjeta electrónica Arduino UNO constituye una tarjeta de desarrollo de prototipos microcontrolada basada en el microcontrolador ATmega328P. Cuenta con 14 pines de entrada / salida, de los cuales 6 pueden ser empleados como salidas PWM, 6 entradas analógicas, una velocidad de operación de 16 MHz, una conexión USB.

La tarjeta Arduino UNO ha sido empleada exclusivamente para el proceso de conversión analógica – digital de las señales de temperatura provistas por los sensores YL-69 empleados para la adquisición de la temperatura del suelo.

El uso de un sistema de conversión analógico digital, obedece a que, la tarjeta Raspberry Pi 2 B no integra conversores analógicos digitales. Las señales captadas por los sensores de humedad son digitalizadas en la tarjeta Arduino UNO, y esas variables digitales son enviadas a la tarjeta Raspberry Pi empleando para ello el puerto USB disponible en la misma. Como se describe más adelante, todo el procesamiento se realiza en la microcomputadora Raspberry.

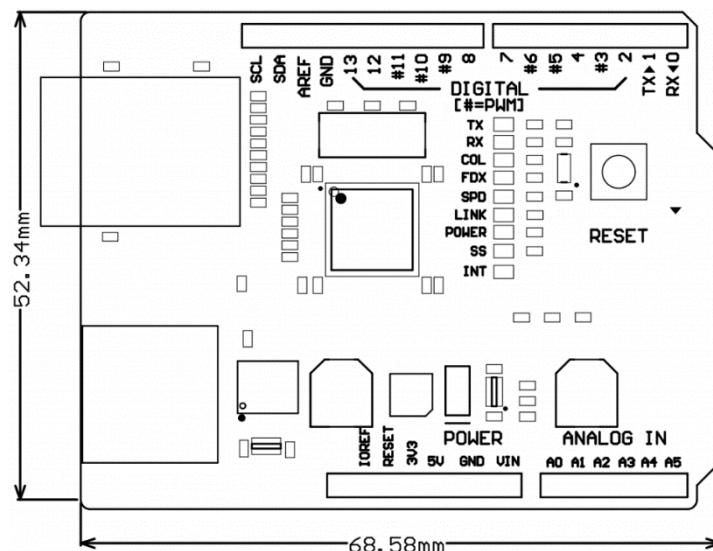


Figura 33. Dimensiones de la tarjeta Arduino UNO

Fuente: Datasheet Arduino UNO

### 3.4 Implementación del Software.

Considerando que sobre la tarjeta Raspberry Pi 2 B se ejecuta un sistema operativo Linux, es posible realizar la programación de las tareas requeridas para la adquisición de señales, en un lenguaje de alto nivel. Se empleó el lenguaje con licencia de código abierto Python.

En la fase de desarrollo del prototipo, se decidió elaborar dos programas independientes, que pueden compartir los recursos del sistema para correr de manera simultánea, para la adquisición de las señales; el primer programa se encarga de la lectura de los cuatro sensores de temperatura DS18B20 y el segundo para la lectura de los datos de humedad provenientes de la tarjeta ARDUINO UNO, la que ha sido empleada para la adquisición de señales de los sensores de humedad YL-69. La decisión de la existencia de dos programas diferentes se fundamenta en la reducción de posibilidades de pérdidas de datos; en el caso de que uno de los programas falle, se perderá la información de una sola variable, mientras la medida y registro de la otra variable no sufre inconvenientes. De no ser así, una falla en el programa, provocará la detención completa del sistema.



Desde el punto de vista electrónico, el dispositivo VBM384 consiste en un registrador de datos provenientes de sensores de humedad y temperatura, que, realiza las funciones de datalogger ya que almacena la información proveniente de los sensores en un archivo de texto que contiene la información suficiente para recuperar y analizar las señales medidas, realiza el envío automático de la información en tiempo real a la Internet, lo que elimina la necesidad de la presencia física de un operador del dispositivo en cada punto de interés, y hace posible la recuperación de información remota y en tiempo real desde cualquier lugar del mundo.

Los algoritmos implementados, tanto para el caso de adquisición de temperatura como en el caso de la adquisición de humedad, se encargan básicamente de lo siguiente:

1. Adquisición de la señal proveniente de cada sensor
2. Almacenamiento de la información en la tarjeta de memoria interna
3. Envío de la información a Internet

El código fuente tanto de la tarjeta Arduino, como de los programas de adquisición de temperatura y humedad se presenta en el Anexo 3.

#### 3.4.1 Generación e interpretación de registros en datalogger VBM384.

##### Estructura y nomenclatura de archivos generados.

El dispositivo desarrollado VBM384, entre sus funciones, se constituye en un datalogger. El algoritmo implementado para esta función, permite el registro de las variables medidas en archivos de texto plano almacenados en la memoria interna del dispositivo.

Cada archivo de texto plano contendrá los datos registrados en una hora. Cada nueva hora transcurrida, se generará un nuevo archivo de texto plano. El formato del nombre de cada uno de los archivos es el siguiente:

aaaammddhh.txt

Donde:

aaaa: año, en 4 dígitos

mm: mes, en dos dígitos

dd: día, en dos dígitos

hh: hora, en dos dígitos

Así, por ejemplo, el archivo 2017051504.txt, contendrá toda la información registrada en el año 2017, mes 05, día 15 y hora 14. El archivo se habrá generado a las 14 horas, 00 minutos y 00 segundos.

Finalmente, tanto la información de temperatura como la información de humedad, se registrará en archivos diferentes.

Estructura y nomenclatura de la información registrada en cada archivo.

Cada archivo de texto plano, contiene la información de una hora de registro de datos en el siguiente formato:

aaaammddhhmmss-t1-t1\_med-t2-t2\_med-t3-t3\_med-t4-t4\_med

Donde:

aaaa: año, en 4 dígitos

mm: mes, en dos dígitos

dd: día, en dos dígitos

hh: hora, en dos dígitos

mm: minuto, en dos dígitos

ss: segundo, en dos dígitos

tx: etiqueta de temperatura

tx\_med: valor medido

Así, la siguiente línea contendrá la información como se indica:

20170515040019-t1-17.125-t2-17.187-t3-16.937-t4-18.312

Primera parte: fecha de registro de la información:

20170515040019

Año: 2017

Mes: 05

Día: 15

Hora: 04

Minuto: 00

Segundo: 19.

Segunda parte: contenido de la información:

t1-17.125-t2-17.187-t3-16.937-t4-18.312

t1: 17.125 °C

t2: 17.187 °C

t3: 16.937 °C

t4: 18.312 °C

En el archivo de texto plano, cuyo nombre es la hora de registro, se generará una nueva línea por cada medición que se realice. Para ilustrar de manera más clara, a continuación se muestra el contenido del archivo 2017052421.txt, el mismo que contiene la siguiente información:

20170524210028-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125

20170524210059-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125

20170524210131-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125

20170524210202-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125  
20170524210234-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125  
20170524210305-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125  
20170524210337-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125  
20170524210409-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125  
20170524210441-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125  
20170524210512-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125  
20170524210544-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125  
20170524210616-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125  
20170524210647-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125  
20170524210719-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125  
20170524210750-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125  
20170524210822-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125  
20170524210853-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524210925-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.125-t4-20.125  
20170524210957-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211030-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211101-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211133-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211204-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211236-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211307-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211339-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211411-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211442-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211514-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211545-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211617-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211648-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211720-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211751-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211823-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211855-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524211927-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125

20170524211958-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212030-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212102-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212133-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212205-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212236-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212308-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212339-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212411-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212442-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212514-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212546-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212617-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212649-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212720-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212752-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212823-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212855-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212926-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524212958-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524213029-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524213101-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524213133-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524213204-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524213236-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524213307-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524213339-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524213410-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.062-t4-20.125  
20170524213442-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524213513-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524213545-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524213617-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524213648-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524213720-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125

20170524213751-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524213823-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524213854-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524213926-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524213957-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214029-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214101-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214132-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214204-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214235-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214307-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214338-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214410-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214441-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214513-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214545-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214616-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214648-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214720-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214751-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214823-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214854-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214927-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524214958-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524215030-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524215101-t1-19.625-t2-20.0-t3-21.0-t4-20.125  
20170524215133-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524215204-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524215236-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524215308-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524215339-t1-19.625-t2-20.0-t3-21.0-t4-20.125  
20170524215411-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524215442-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524215514-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125

20170524215545-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524215617-t1-19.625-t2-20.062-t3-20.937-t4-20.125  
20170524215648-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524215720-t1-19.625-t2-20.062-t3-20.937-t4-20.125  
20170524215752-t1-19.625-t2-20.062-t3-21.0-t4-20.125  
20170524215823-t1-19.625-t2-20.062-t3-20.937-t4-20.125  
20170524215855-t1-19.625-t2-20.062-t3-20.937-t4-20.125  
20170524215927-t1-19.625-t2-20.0-t3-20.937-t4-20.125  
20170524215959-t1-19.625-t2-20.062-t3-20.937-t4-20.125

Cada archivo almacena en promedio 120 datos, debido a que se realiza una toma de datos cada 30 segundos.

Para el caso del registro de humedad, la única diferencia radica en que, en lugar del identificador del sensor de temperatura tx, se emplea el identificador del sensor de humedad hx, de la siguiente manera:

20170527231043-**h1**-624.0-**h2**-794.0-**h3**-739.0-**h4**-160.0

Finalmente, el dato de humedad registrado por cada sensor, no debe ser leído de manera directa, sino debe entenderse que consiste en el resultado de la conversión analógica a digital del valor detectado por el sensor en el instante del registro. El dato de cada sensor de humedad puede tomar valores entre 0 y 1023, ya que el conversor analógico - digital empleado tiene una resolución de 10 bits.

El análisis del sistema ha permitido determinar que, es recomendable el registro de los resultados directos de la conversión analógica digital, para evitar introducir errores por calibración, en función del tipo de suelo en el que el sistema sea aplicado. Será más sencillo aplicar una ecuación de calibración a los resultados, garantizando la operación en cualquier tipo de suelo, que realizar la calibración de cada tipo de suelo previo a la instalación del sistema de registro.

Por otro lado, el almacenamiento de la información pura del resultado de la conversión analógica digital del sistema permite la instalación inmediata del dispositivo en cualquier tipo de suelo sin importar las características del mismo. La calibración podrá ser introducida para el análisis de los resultados. Esto hace que el sistema pueda ser instalado sin la necesidad de un análisis previo del suelo.

### 3.5 Descripción del experimento.

Para el desarrollo de la investigación fueron necesarias actividades planificadas y ejecutadas a nivel de campo y laboratorio electrónico.

#### 3.5.1 En el laboratorio electrónico

La ingeniería, el desarrollo y las pruebas de funcionamiento del sistema electrónico objeto de esta investigación se realizaron en el laboratorio de electrónica de la empresa AndesTech S.A., ubicado en la parroquia Sayausí en el Cantón Cuenca.

El proceso inició con el diseño de la arquitectura básica del sistema y la selección del microcomputador principal. A continuación se realizó la selección de los sensores de humedad y temperatura con los cuales se desarrolló el prototipo del equipo, los cuales fueron importados desde la China. De forma simultánea al periodo de importación, se desarrolló la arquitectura de software para la programación de los algoritmos de adquisición de señales desde la microcomputadora elegida.

El software fue probado a nivel de laboratorio, empleando para el efecto los sensores seleccionados para el dispositivo. Estas pruebas se realizaron con el objetivo de determinar que el sistema sea confiable y que los datos adquiridos correspondan a la realidad física del experimento.



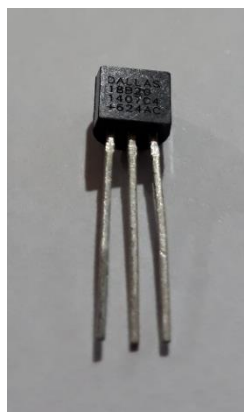


*Figura 34. Pruebas en laboratorio*

*Fuente: Autora.*

Una vez que el dispositivo fue probado y el software depurado, se realizó el armado definitivo de sensores.

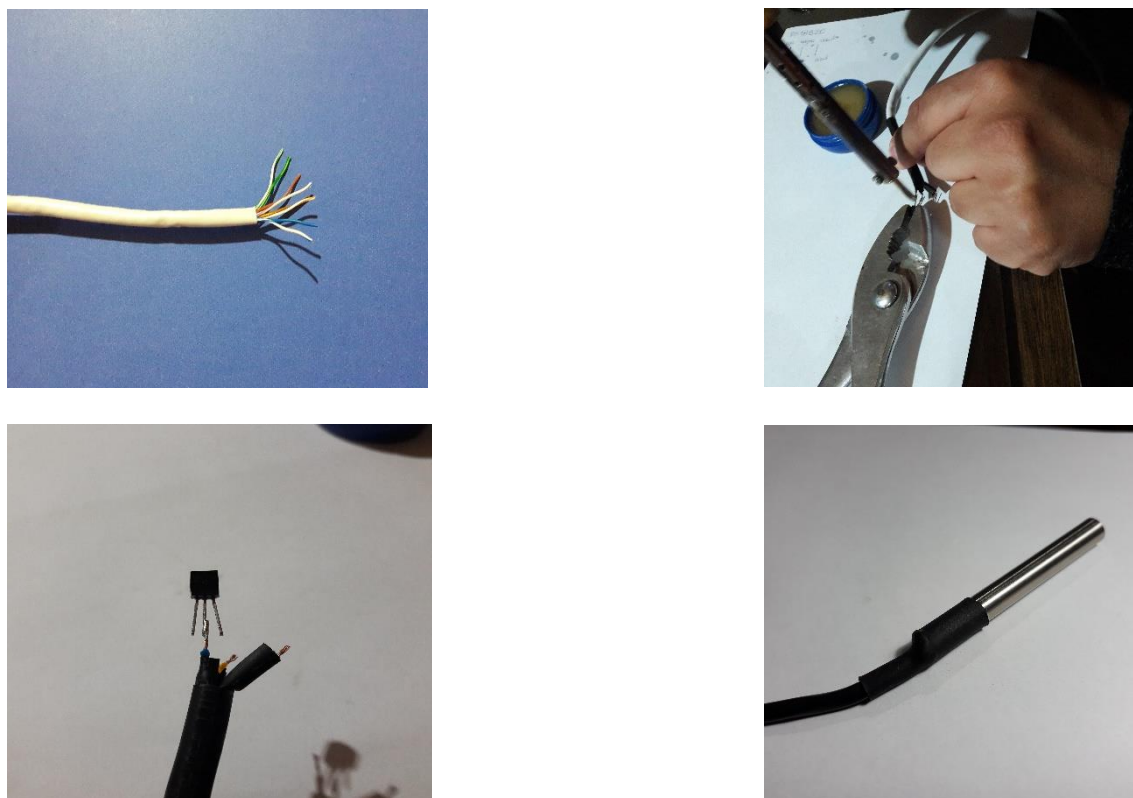
Los sensores de temperatura DS18B20 tienen un factor de forma TO-92, los cuales se muestran en la figura 35. Es importante indicar que, se trata de un circuito electrónico integrado o chip, de aproximadamente 5mm de tamaño, cuyos terminales de conexión (los tres terminales metálicos mostrados en la fotografía) deben conectarse a cables para la transmisión de señales hacia la microcomputadora.



*Figura 35. Sensor de temperatura DS18B20*

*Fuente: Autora.*

Con el objetivo de brindarles una mayor resistencia mecánica a los sensores de temperatura, se construyeron cápsulas de acero inoxidable dentro de las cuales los sensores fueron depositados. A continuación se muestra el proceso de armado de los sensores de temperatura.



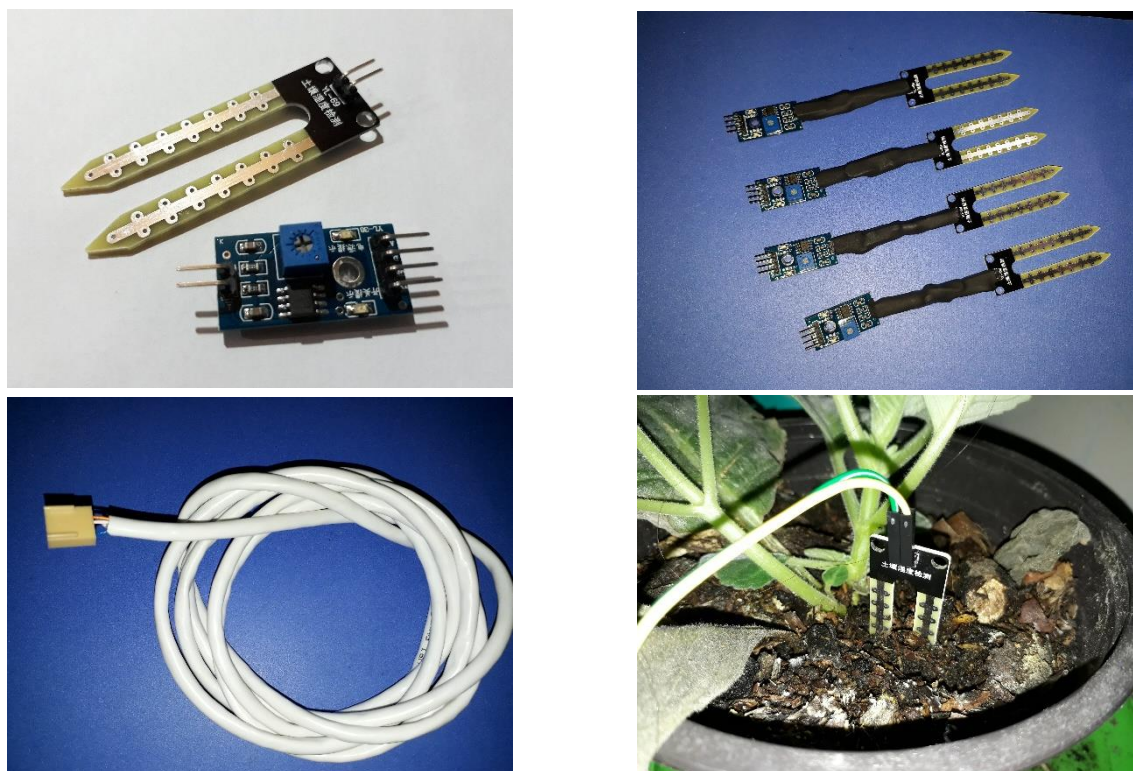
*Figura 36. Proceso de armado de los sensores de temperatura DS18B20*

*Fuente: Autora.*

Los sensores de humedad YL-69 constan de dos partes, la primera, está constituida por la sonda que estará en contacto con el suelo a monitorear, y la segunda, un circuito electrónico con los componentes necesarios para la captura de la señal analógica proveniente de la sonda.

Considerando que el sensor deberá ser instalado en el campo, con el objetivo de mejorar sus características mecánicas, fue encapsulado en material impermeable, con el fin de hermetizar los componentes electrónicos sensibles a la humedad.

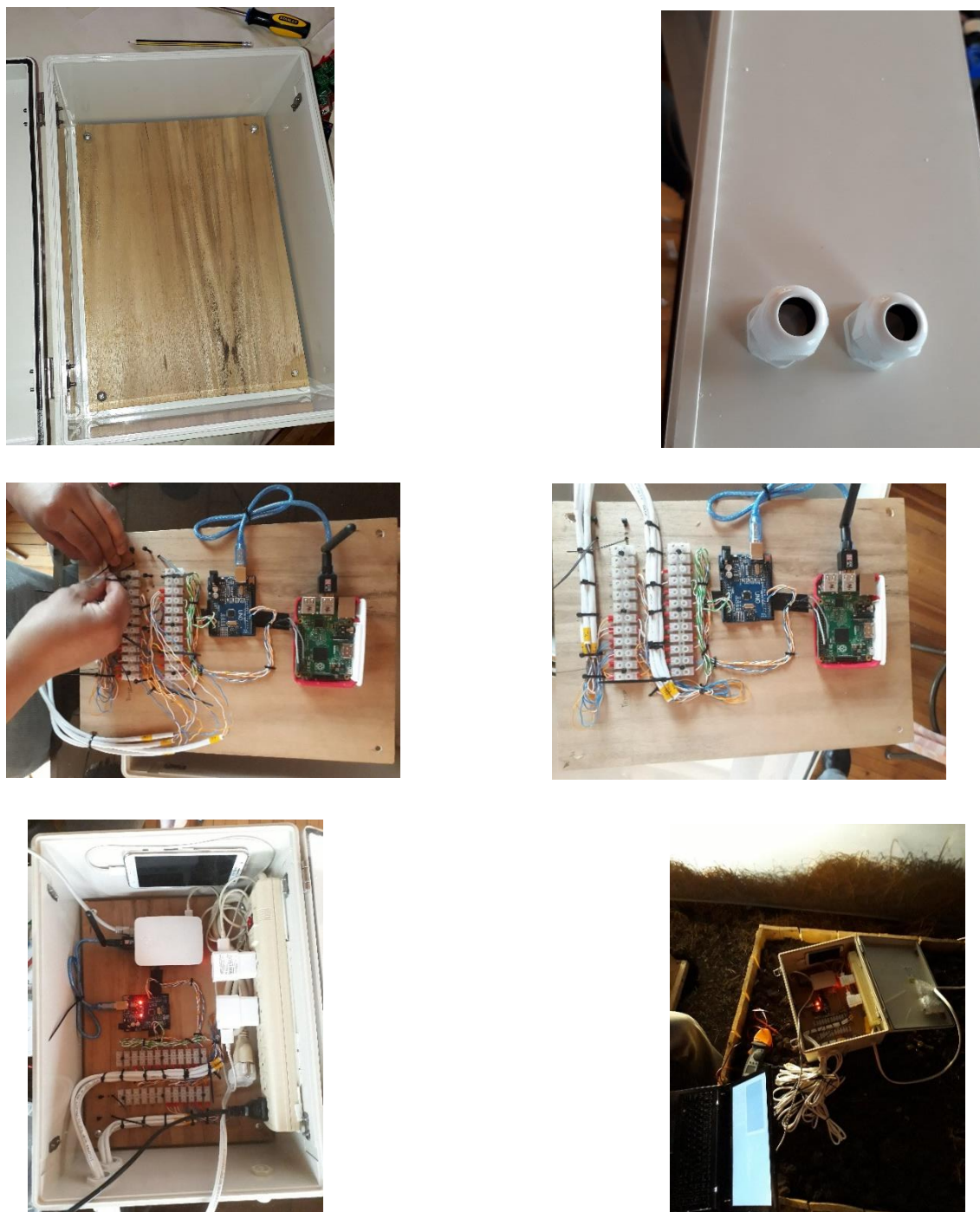
El proceso de armado del sensor se muestra a continuación:



*Figura 37. Proceso de armado de los sensores de humedad YL - 69*

*Fuente: Autora.*

Los sensores serán instalados de manera directa en el suelo a analizar, sin embargo, los circuitos electrónicos que realizarán la adquisición de señales, procesamiento y almacenamiento de información y conexión y envío a Internet, son sensibles a la humedad, por lo que, fueron instalados en una caja plástica completamente impermeable que cumple con el estándar IP-65, el mismo que puede ser colocado de manera directa en suelo húmedo y que puede soportar un nivel moderado de humedad protegiendo de daños a los componentes electrónicos. El ingreso y salida de cables hacia los sensores y hacia la toma de energía eléctrica, se realizó a través de prensa estopas, garantizando que el sistema sea hermético y que no permita el ingreso de agua por ninguno de los orificios practicados para la circulación de cables.



*Figura 38. Proceso de armado del dispositivo VBM384*

*Fuente: Autora.*

### 3.5.2 En el campo.

Esta investigación se desarrolló en el invernadero localizado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, ubicado en el campus Yanuncay, en la Av. 12 de Octubre en el Cantón Cuenca.



Para iniciar con el trabajo, se realizó el reconocimiento del lugar, definiendo el área a intervenir, el acceso a tomas de agua, a una toma eléctrica y conexión a la Internet.



*Figura 39. Reconocimiento del área de trabajo*

*Fuente: Autora.*

Para adecuar el espacio, se extendió piola para el trazado de camineras, y lugares de excavación para la implementación de las unidades experimentales o macetas aisladas de tal manera que se encuentren niveladas y alineadas; el área total del experimento es 8.68 m<sup>2</sup>.



*Figura 40. Ubicación del experimento.*

*Fuente: Autora.*

Se realizó la remoción del suelo a una profundidad de 0.50 m, antes de la ubicación de las cuatro bases metálicas elaboradas con ángulos de 1½ pulgadas cuyas dimensiones son 1.10 x 1.10 x 0.40 m; sobre estas colocamos las cuatro macetas cuyas dimensiones son 1.00 x 1.00 x 0.50 m elaboradas con tablas de 3.00 x 0.16 x 0.18 m y tiras de 3.00 x 0.04 x 0.04 m de eucalipto, en cada base de cada maceta se implementó un sistemas de drenaje que consta de 12 orificios

realizados con una broca de  $\frac{1}{2}$  pulgada; en el interior de cada maceta se colocó una membrana plástica impermeable de color negro cuyo espesor es 0,1125 mm para evitar la infiltración por niveles freáticos. Posteriormente en cada maceta se colocó  $0.5 \text{ m}^3$  de suelo previamente homogenizado.



*Figura 41. Remoción de suelo.*

*Fuente: Autora.*



*Figura 42. Ubicación de bases metálicas.*

*Fuente: Autora.*

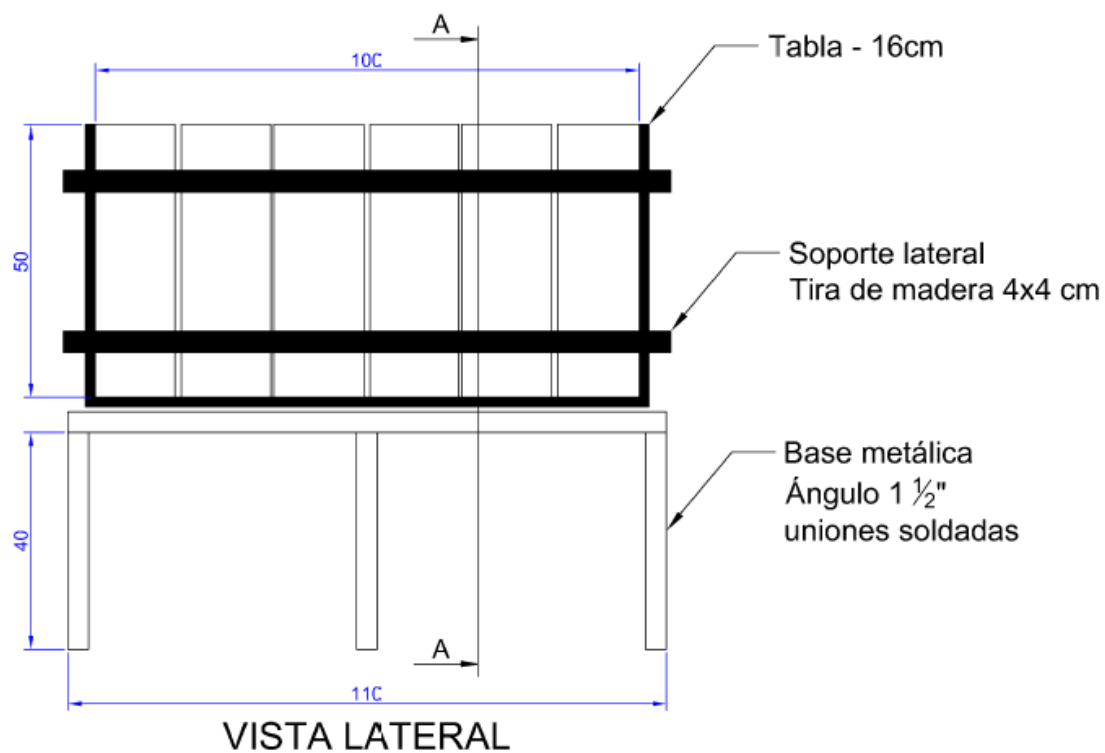


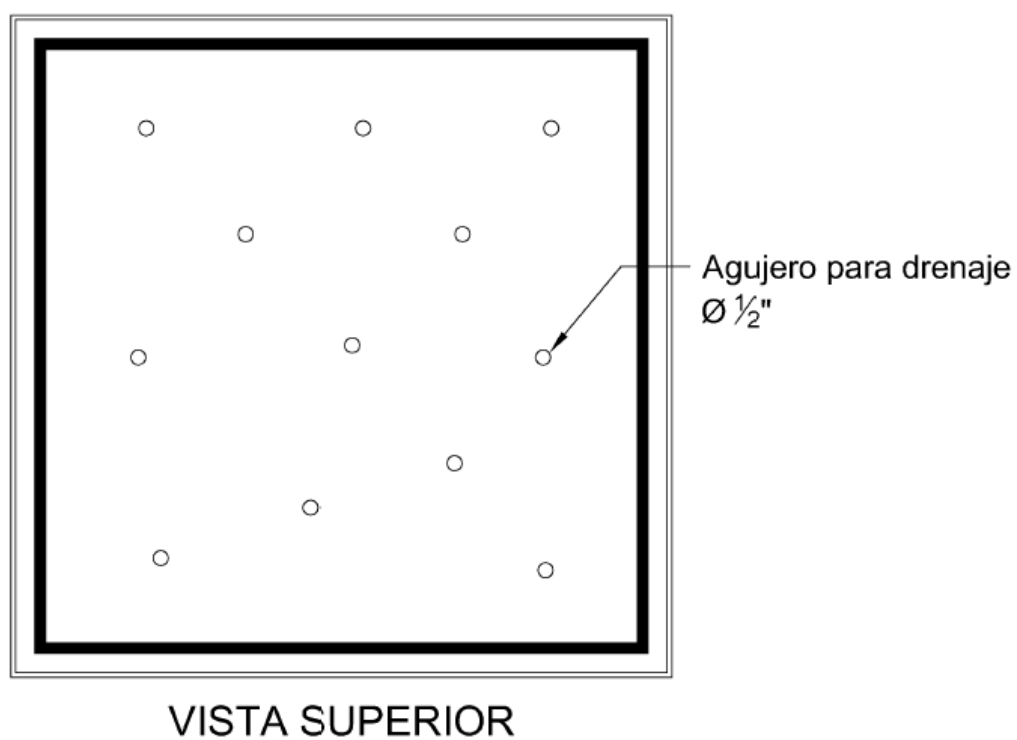
Figura 43. Vista lateral. Detalle macetas y bases metálicas en metros.

Fuente: Autora



Figura 44. Ubicación de macetas.

Fuente: Autora.



*Figura 45. Vista Superior. Disposición de orificios para drenaje. Detalle.*

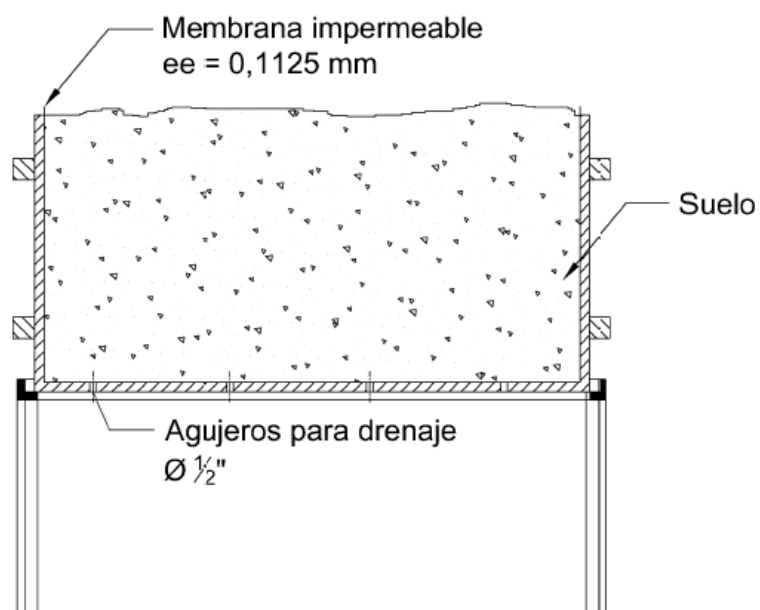
*Fuente: Autora.*



*Figura 46. Drenaje de macetas.*

*Fuente: Autora.*





Corte A - A

*Figura 47. Corte A – A de macetas.*

*Fuente: Autora.*



*Figura 48. Colocación de membrana plástica.*

*Fuente: Autora*



*Figura 49. Homogenización del suelo.*

*Fuente: Autora.*



*Figura 50. Colocación del suelo en las macetas.*

*Fuente: Autora.*

Se colocaron dos sensores en el centro de cada maceta aislada, para el monitoreo automático de la humedad y temperatura a una profundidad de 0.30 m y a una distancia de 0.20 m.

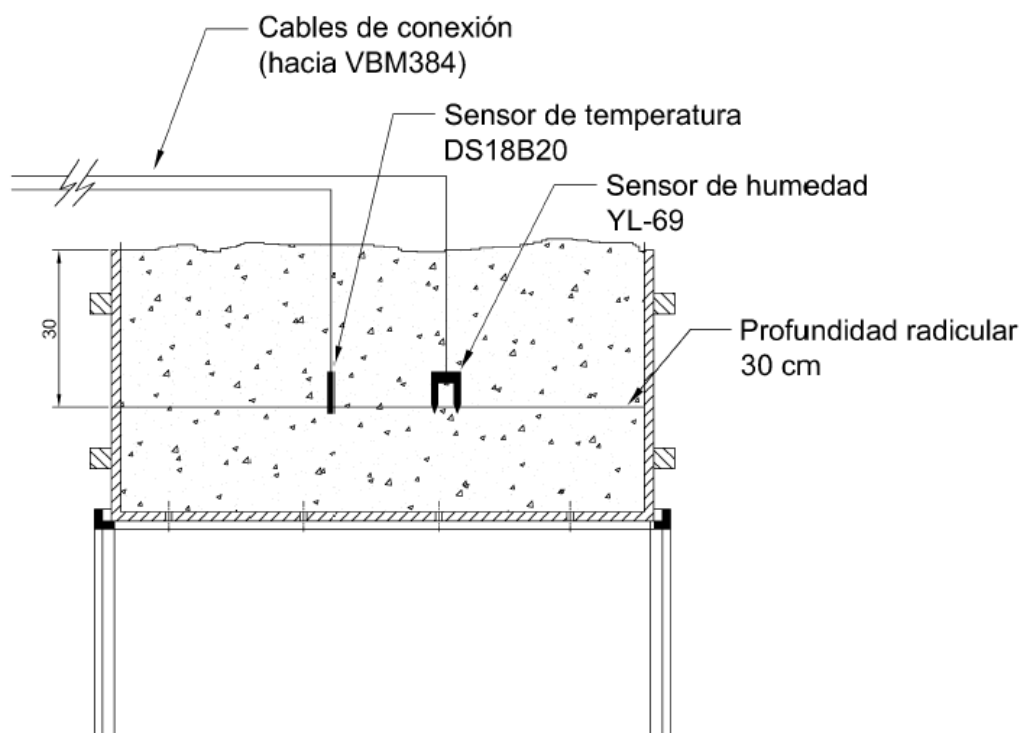


Figura 51. Corte A – A. Disposición final de los sensores

Fuente: Autora

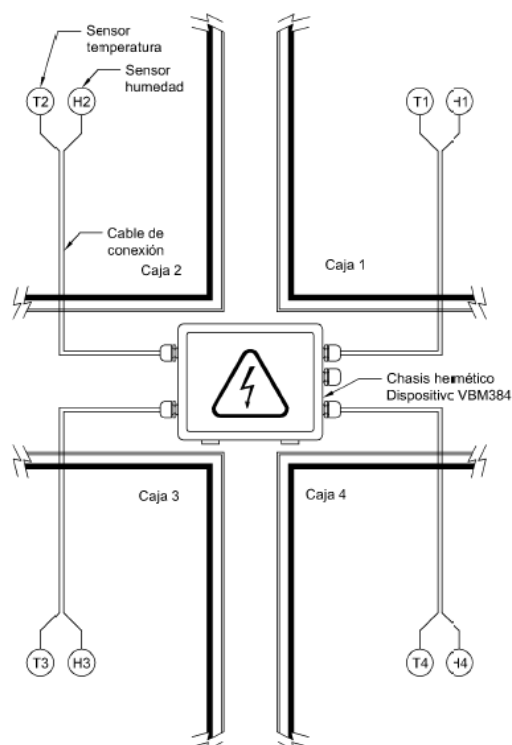


Figura 52. Vista superior. Disposición final de los sensores

Fuente: Autora



*Figura 53. Ubicación de sensores a 0.30 m.*

*Fuente: Autora.*



*Figura 54. Distancia entre sensores a 0.20 m.*

*Fuente: Autora*



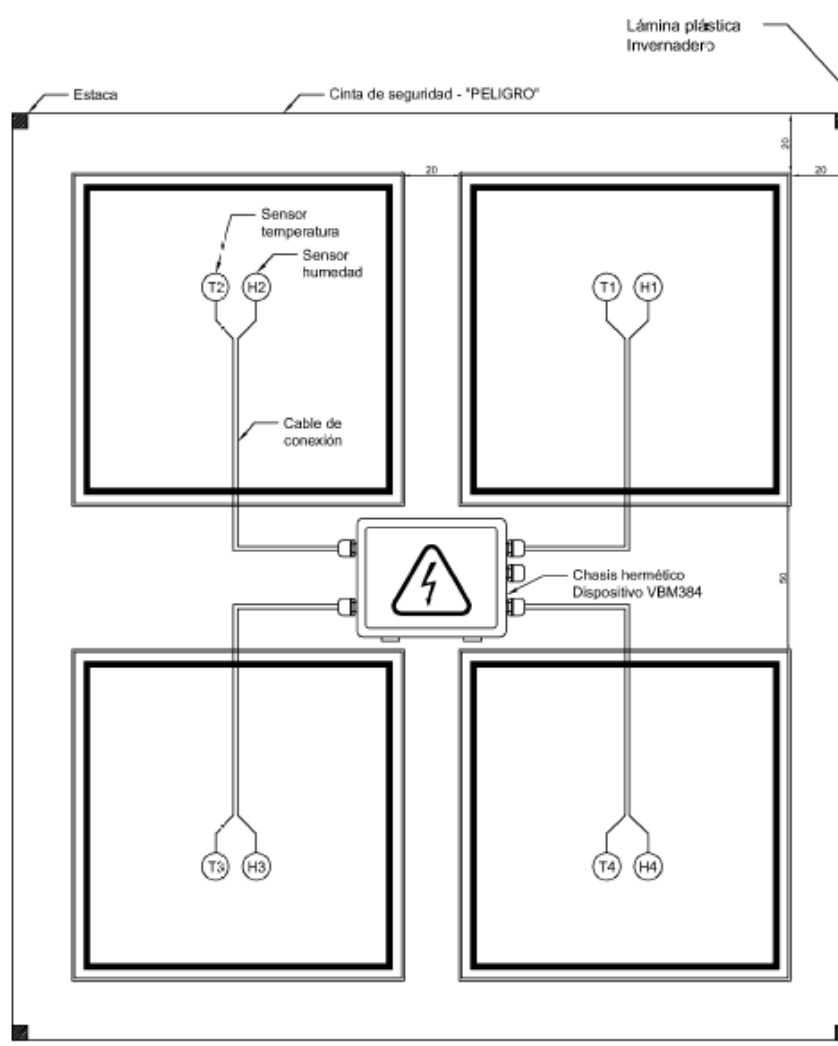


Figura 55. Vista superior. Instalación del experimento. Detalle.

Fuente: Autora.



Figura 56. Experimento instalado.

Fuente: Autora.

La fase de toma de muestras del suelo inició a las 11:00 de la mañana; de las cuatro macetas experimentales se tomaron submuestras, luego de homogenizarlas obtuvimos una muestra compuesta de 500 gr de suelo que fue enviada al laboratorio.



*Figura 57. Submuestra.*

*Fuente: Autora.*



*Figura 58. Muestra compuesta.*

*Fuente: Autora.*

Además se tomaron 16 muestras divididas así, 12 para análisis gravimétrico, es decir tres muestras de cada maceta aislada iniciando la toma a las 11:15:30 de la mañana, con ayuda del calador y martillo a 0,30 metros de profundidad que es el lugar de ubicación de los sensores de humedad y temperatura, las muestras fueron recolectadas en anillos herméticos biselados de acero inoxidable con una capacidad de 100 cc, previamente identificados; las muestras tomadas se

enrasaron con una cierra para luego taparlas, y trasladarlas al laboratorio, una vez en este lugar fueron pesadas en húmedo, para luego llevarlas a la estufa a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$  por un tiempo de 24 horas, hasta determinar el peso constante y poder calcular el contenido de humedad.

Finalmente se tomaron 4 muestras es decir 1 por maceta para la construcción de la curva de retención de humedad PF.



*Figura 59. Equipo para toma de muestras.*

*Fuente: Autora.*



*Figura 60. Toma de muestras.*

*Fuente: Autora.*



*Figura 61. Enrasado de muestras.*

*Fuente: Autora.*



*Figura 62. Colocación de tapa.*

*Fuente: Autora.*



*Figura 63. Traslado de muestras al laboratorio.*

*Fuente: Autora.*

Para finalizar el trabajo en el campo, se saturó el suelo de cada maceta aislada utilizando un caudal  $Q$  de  $0.13 \text{ l/s}$  por un tiempo de 1:35; posterior a esta actividad se tomaron las primeras muestras para el análisis de gravimetría. Para finalizar con esta fase se tomaron muestras de suelo cada dos días para enviarlas al laboratorio para análisis de gravimetría, adicionalmente se implementó una TDR



CS659 para la calibración y validación de la data almacenada y transmitida a la web por el dispositivo VBM384.



*Figura 64. Saturación del suelo.*

*Fuente: Autora.*



*Figura 65. Muestras para gravimetría.*

*Fuente: Autora*



*Figura 66. Muestras para gravimetría.*

*Fuente: Autora*



*Figura 67. Muestras para gravimetría.*

*Fuente: Autora*



*Figura 68. Muestras para gravimetría.*

*Fuente: Autora*



*Figura 69. Muestras para gravimetría.*

*Fuente: Autora*



*Figura 70. Muestras para gravimetría.*

*Fuente: Autora.*

### 3.6 Recopilación de datos cuantitativos.

La recopilación de datos para el análisis de validez de los sensores se realizó de forma automática por el dispositivo VBM384.

La información capturada en la memoria interna mediante la función de datalogger, fue comparada con la información transmitida a Internet empleando la funcionalidad de IoT. Se ha determinado una efectividad en la transmisión de datos del 100%. La evidencia de esta información se encuentra en la web.

En el anexo 5 se muestra un resumen de los datos adquiridos por el sistema VBM384, que corresponde a la información de 2 días de operación. Se presenta únicamente una muestra de dos días, debido a que el volumen total de la información existente es elevado; a la fecha ocuparía una impresión en aproximadamente 10000 hojas de formato A4.

El análisis de la información recopilada, ha permitido determinar la validez de los sensores de humedad y temperatura. Las curvas características alcanzadas en cada variable, son contrastadas con las curvas construidas de manera automática.

La siguiente figura, muestra la información de temperatura, recopilada por el equipo y transmitida a la web. Consiste en una captura de pantalla de la información existente en la Internet.

Temperatura



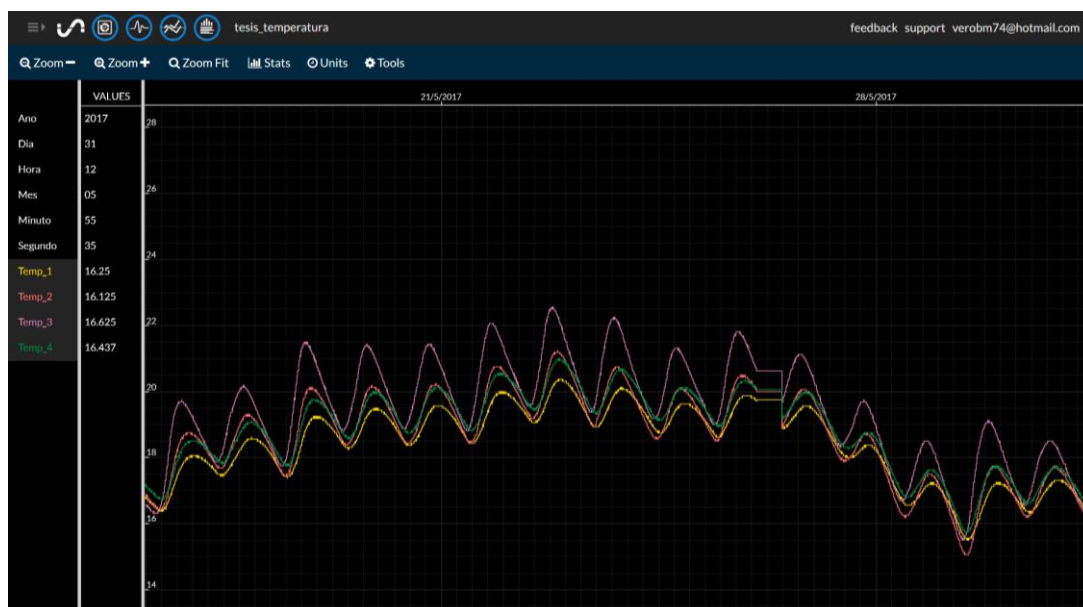


Figura 71. Captura de la información de temperatura transmitida

Fuente: Autora.

## Humedad

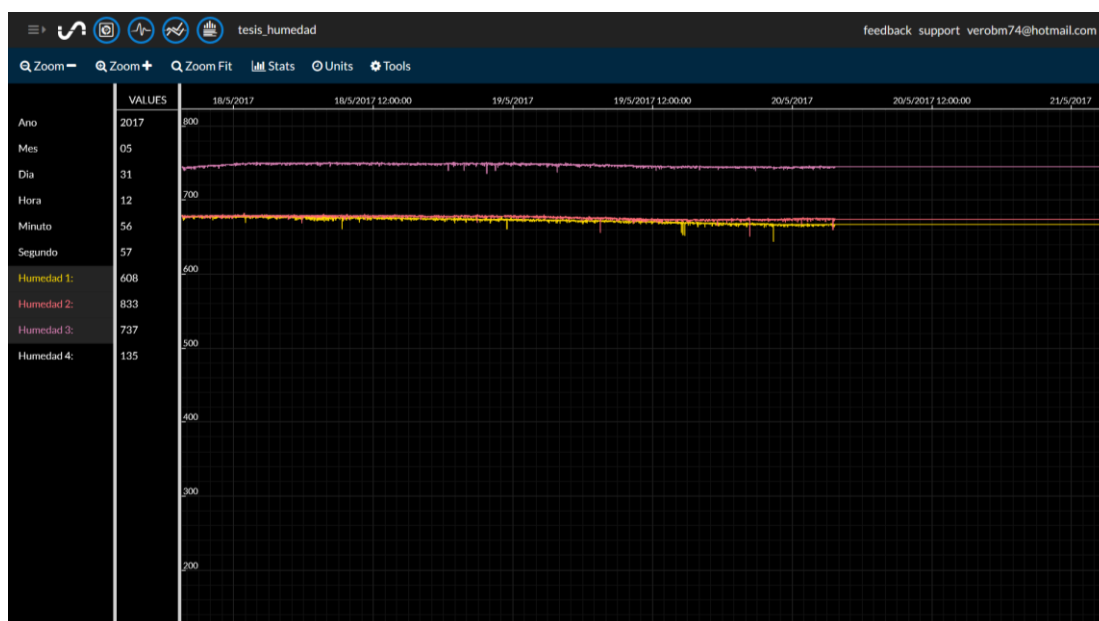


Figura 72. Captura de la información de humedad transmitida

Fuente: Autora.

## Capítulo 4.

## Resultados y discusión.

### 4.1 Resultados de análisis de laboratorio

El suelo con el que trabajamos contiene un valor elevado de materia orgánica; una textura considerada como pesada, es un suelo áspero que al tacto se adhiere a los dedos; considerado un suelo neutro por su valor de pH. Adicionalmente es un suelo en el que podríamos trabajar con cualquier cultivo.

Los resultados de los análisis de laboratorio se muestran en la tabla 5.

Análisis físico del suelo.	
Propiedad	Valor
Materia orgánica	6.25
Textura	franco arcillo arenoso
Densidad aparente	1.46 gr/cm <sup>3</sup>
pH	6.98
Conductividad eléctrica	0.19 mS/cm
Gravimetría	0.253 g/g

*Tabla 5. Resultados de análisis de laboratorio.*

*Fuente: Laboratorio de física de suelos*

### 4.2 Resultados de análisis de gravimetría.



Gravimetría					
Código Muestra	Contenido gravimétrico	Código Muestra	Contenido gravimétrico	Código Muestra	Contenido gravimétrico
Y-Inv-H1T1-1	0,26	Y-Inv-H1T1-7	0,31	Y-Inv-H1T1-13	0,27
Y-Inv-H2T2-1	0,24	Y-Inv-H2T2-7	0,31	Y-Inv-H2T2-13	0,21
Y-Inv-H3T3-1	0,24	Y-Inv-H3T3-7	0,31	Y-Inv-H3T3-13	0,25
Y-Inv-H4T4-1	0,27	Y-Inv-H4T4-7	0,32	Y-Inv-H4T4-13	0,24
Y-Inv-H1T1-2	0,37	Y-Inv-H1T1-8	0,29	Y-Inv-H1T1-14	0,29
Y-Inv-H2T2-2	0,35	Y-Inv-H2T2-8	0,29	Y-Inv-H2T2-14	0,22



<b>Y-Inv-H3T3-2</b>	0,37	<b>Y-Inv-H3T3-8</b>	0,33	<b>Y-Inv-H3T3-14</b>	0,21
<b>Y-Inv-H4T4-2</b>	0,36	<b>Y-Inv-H4T4-8</b>	0,3	<b>Y-Inv-H4T4-14</b>	0,24
<b>Y-Inv-H1T1-3</b>	0,32	<b>Y-Inv-H1T1-9</b>	0,23	<b>Y-Inv-H1T1-15</b>	0,28
<b>Y-Inv-H2T2-3</b>	0,32	<b>Y-Inv-H2T2-9</b>	0,28	<b>Y-Inv-H2T2-15</b>	0,24
<b>Y-Inv-H3T3-3</b>	0,3	<b>Y-Inv-H3T3-9</b>	0,27	<b>Y-Inv-H3T3-15</b>	0,20
<b>Y-Inv-H4T4-3</b>	0,33	<b>Y-Inv-H4T4-9</b>	0,25	<b>Y-Inv-H4T4-15</b>	0,22



<b>Y-Inv-H1T1-4</b>	0,34	<b>Y-Inv-H1T1-10</b>	0,3	<b>Y-Inv-H1T1-16</b>	0,26
<b>Y-Inv-H2T2-4</b>	0,29	<b>Y-Inv-H2T2-10</b>	0,24	<b>Y-Inv-H2T2-16</b>	0,23
<b>Y-Inv-H3T3-4</b>	0,31	<b>Y-Inv-H3T3-10</b>	0,24	<b>Y-Inv-H3T3-16</b>	0,19
<b>Y-Inv-H4T4-4</b>	0,29	<b>Y-Inv-H4T4-10</b>	0,29	<b>Y-Inv-H4T4-16</b>	0,22
<b>Y-Inv-H1T1-5</b>	0,33	<b>Y-Inv-H1T1-11</b>	0,31	<b>Y-Inv-H1T1-17</b>	0,19
<b>Y-Inv-H2T2-5</b>	0,32	<b>Y-Inv-H2T2-11</b>	0,24	<b>Y-Inv-H2T2-17</b>	0,19





<b>Y-Inv-H3T3-5</b>	0,33	<b>Y-Inv-H3T3-11</b>	0,23	<b>Y-Inv-H3T3-17</b>	0,24
<b>Y-Inv-H4T4-5</b>	0,33	<b>Y-Inv-H4T4-11</b>	0,27	<b>Y-Inv-H4T4-17</b>	0,17
<b>Y-Inv-H1T1-6</b>	0,32	<b>Y-Inv-H1T1-12</b>	0,29	<b>Y-Inv-H1T1-18</b>	0,18
<b>Y-Inv-H2T2-6</b>	0,29	<b>Y-Inv-H2T2-12</b>	0,25	<b>Y-Inv-H2T2-18</b>	0,14
<b>Y-Inv-H3T3-6</b>	0,31	<b>Y-Inv-H3T3-12</b>	0,28	<b>Y-Inv-H3T3-18</b>	0,29
<b>Y-Inv-H4T4-6</b>	0,33	<b>Y-Inv-H4T4-12</b>	0,26	<b>Y-Inv-H4T4-18</b>	0,21

*Tabla 6. Resultados de análisis gravimétricos de laboratorio.  
Fuente: Laboratorio de física de suelos*

### 4.3 Validación de datos adquiridos mediante el sistema desarrollado.

Del contraste entre la información adquirida por el sistema VBM384 y los resultados de los análisis de gravimetría, se ha determinado que los datos guardan una relación de semejanza, por lo que, únicamente se debe aplicar un factor de offset para la conversión de la información, en datos adimensionales binarios adquiridos, con el objetivo de presentarla en porcentaje de humedad.

Como medio de verificación final, se realizó la medición de humedad de una muestra de suelo, empleando un TDR y el sensor YL-69 de forma simultánea, obteniendo los siguientes datos:



FECHA	Código muestra	PROMEDIO CONTENIDO GRAVIMÉTRICO (%)	VBM384 (Adimensional)	EQUIVALENCIA VBM384 (%)	PROMEDIO VBM384 (%)	ERROR (%)	HORA	TDR (%)	TDR PROMEDIO (%)	us
15/05/2017	Y-Inv-H1T1-1	26,00%	576,00	25,85%	25,56%	-0,44%				
			579,00	25,98%						
			554,00	24,86%						
	Y-Inv-H2T2-1	24,00%	530,00	23,78%	24,39%	0,39%				
			520,00	23,33%						
			581,00	26,07%						
	Y-Inv-H3T3-1	24,00%	528,00	23,69%	24,19%	0,19%				
			543,00	24,36%						
			546,00	24,50%						
	Y-Inv-H4T4-1	27,00%	537,00	24,10%	27,10%	0,10%				
			647,00	29,03%						
			628,00	28,18%						
17/05/2017	Y-Inv-H1T1-2	37,00%	813,00	36,48%	37,17%	0,17%				
			817,00	36,66%						
			855,00	38,36%						
	Y-Inv-H2T2-2	35,00%	847,00	38,01%	35,30%	0,30%				
			689,00	30,92%						
			824,00	36,97%						
	Y-Inv-H3T3-2	37,00%	811,00	36,39%	36,85%	-0,15%				
			828,00	37,15%						
			825,00	37,02%						
	Y-Inv-H4T4-2	36,00%	802,00	35,99%	35,78%	-0,22%				
			798,00	35,81%						
			792,00	35,54%						
19/05/2017	Y-Inv-H1T1-3	32,00%	735,00	32,98%	34,15%	2,15%	10:58:42			
			761,00	34,15%			11:04:21			
			787,50	35,34%			11:07:50			
	Y-Inv-H2T2-3	32,00%	704,50	31,61%	31,75%	-0,25%	9:43:59			
			696,50	31,25%			9:49:06			
			721,50	32,37%			9:56:00			
	Y-Inv-H3T3-3	30,00%	726,50	32,60%	32,55%	2,55%	10:11:40			
			724,00	32,49%			10:15:39			
			726,00	32,58%			10:20:40			
	Y-Inv-H4T4-3	33,00%	790,00	35,45%	34,30%	1,30%	10:35:20			
			724,50	32,51%			10:40:10			
			779,00	34,95%			10:44:43			
19/05/2017	Y-Inv-H1T1-4	34,00%	670,00	30,06%	30,51%	-3,49%	9:22:40			
			665,00	29,84%			9:29:20			
			705,00	31,63%			9:34:20			
	Y-Inv-H2T2-4	29,00%	684,50	30,71%	31,33%	2,33%	10:30:52			
			680,00	30,51%			10:36:53			
			730,00	32,76%			10:42:49			



			720,50	32,33%			10:08:08			
			711,00	31,90%			10:13:44			
	Y-Inv-H3T3-4	31,00%	721,50	32,37%	32,20%	1,20%	10:19:15			
			718,00	32,22%			9:45:17			
			720,00	32,31%			9:50:57			
	Y-Inv-H4T4-4	29,00%	695,50	31,21%	31,91%	2,91%	9:56:59			
			645,00	28,94%			9:22:40			
			650,00	29,17%			9:29:20			
21/05/2017	Y-Inv-H1T1-5	33,00%	678,00	30,42%	29,51%	-3,49%	9:34:20			
			667,50	29,95%			10:30:52			
			675,00	30,29%			10:36:53			
	Y-Inv-H2T2-5	32,00%	717,00	32,17%	30,80%	-1,20%	10:42:49			
			705,00	31,63%			10:08:08			
			705,00	31,63%			10:13:44			
	Y-Inv-H3T3-5	33,00%	715,00	32,08%	31,78%	-1,22%	10:19:15			
			703,00	31,54%			9:45:17			
			710,00	31,86%			9:50:57			
	Y-Inv-H4T4-5	33,00%	691,50	31,03%	31,48%	-1,52%	9:56:59			
			642,50	28,83%			12:11:30			
			649,00	29,12%			12:15:20			
23/05/2017	Y-Inv-H1T1-6	32,00%	675,00	30,29%	29,41%	-2,59%	12:25:00			
			665,00	29,84%			10:53:30			
			668,50	30,00%			11:02:30			
	Y-Inv-H2T2-6	29,00%	700,00	31,41%	30,41%	1,41%	11:10:09			
			635,00	28,49%			11:25:35			
			687,00	30,83%			11:31:40			
	Y-Inv-H3T3-6	31,00%	711,50	31,93%	30,41%	-0,59%	11:35:02			
			701,50	31,48%			11:44:15			
			702,50	31,52%			11:48:35			
	Y-Inv-H4T4-6	33,00%	690,50	30,98%	31,33%	-1,67%	11:52:55			
25/05/2017			640,00	28,72%			12:32:19	29,10		1,570
			648,00	29,08%			9:35:39	34,10		1,646
	Y-Inv-H1T1-7	31,00%	672,50	30,18%	29,32%	-1,68%	9:40:15	38,30	33,83%	1,715
			663,00	29,75%			9:58:02	35,80		1,675
			665,00	29,84%			10:01:50	26,70		1,537
	Y-Inv-H2T2-7	31,00%	696,50	31,25%	30,28%	-0,72%	10:06:50	31,20	31,23%	1,602



			634,00	28,45%			10:18:20	32,20		1,616
			640,00	28,72%			10:21:51	33,90		1,643
	Y-Inv-H3T3-7	31,00%	686,00	30,78%	29,32%	-1,68%	10:26:45	36,00	34,03%	1,676
			662,00	29,70%			10:43:10	21,70		1,461
			664,00	29,79%			10:47:50	24,70		1,505
	Y-Inv-H4T4-7	32,00%	678,50	30,44%	29,98%	-2,02%	10:50:18	34,80	27,07%	1,658
28/05/2017			639,00	28,67%			10:51:05	28,20		1,556
			640,00	28,72%			10:54:08	29,20		1,571
	Y-Inv-H1T1-8	29,00%	671,00	30,11%	29,17%	0,17%	10:57:30	26,20	27,87%	1,527
			660,00	29,61%			11:29:55	32,80		1,627
			662,00	29,70%			11:36:42	28,40		1,559
	Y-Inv-H2T2-8	29,00%	695,00	31,18%	30,17%	1,17%	11:39:35	30,80	30,67%	1,595
			632,00	28,36%			11:18:15	29,10		1,569
			635,00	28,49%			11:22:30	32,40		1,619
	Y-Inv-H3T3-8	33,00%	674,00	30,24%	29,03%	-3,97%	11:27:40	33,80	31,77%	1,614
			660,00	29,61%			11:02:40	25,30		1,513
			662,00	29,70%			11:07:30	22,90		1,482
	Y-Inv-H4T4-8	30,00%	663,00	29,75%	29,69%	-0,31%	11:13:16	31,00	26,40%	1,548
31/05/2017			618,00	27,73%			11:01:15	30,50		1,589
			607,00	27,24%			11:05:38	30,60		1,591
	Y-Inv-H1T1-9	23,00%	630,00	28,27%	27,74%	4,74%	11:09:00	31,90	31,00%	1,612
			698,00	31,32%			11:13:20	36,40		1,683
			752,00	33,74%			11:17:10	33,60		1,639
	Y-Inv-H2T2-9	28,00%	743,00	33,34%	32,80%	4,80%	11:21:00	30,60	33,53%	1,595
			680,00	30,51%			11:25:00	25,20		1,512
			692,00	31,05%			11:29:30	28,30		1,566
	Y-Inv-H3T3-9	27,00%	703,00	31,54%	31,04%	4,04%	11:33:00	26,60	26,70%	1,533
			617,00	27,68%			11:37:40	22,70		1,476
			622,00	27,91%			11:41:10	24,50		1,502
	Y-Inv-H4T4-9	25,00%	605,00	27,15%	27,58%	2,58%	11:40:58	23,70	23,63%	1,493
02/06/2017			650,00	29,17%			15:57:05	27,50		1,545
			627,00	28,13%			16:01:00	23,50		1,489
	Y-Inv-H1T1-10	30,00%	665,00	29,84%	29,05%	-0,95%	16:05:58	29,00	26,67%	1,569
			592,00	26,56%			16:42:42	25,10		1,511
			583,00	26,16%			16:46:30	22,90		1,483
	Y-Inv-H2T2-10	24,00%	543,00	24,36%	25,70%	1,70%	16:50:37	23,70	23,90%	1,494
			636,00	28,54%			16:28:15	25,80		1,521
			620,00	27,82%			16:32:30	22,40		1,479
	Y-Inv-H3T3-10	24,00%	614,00	27,55%	27,97%	3,97%	16:36:36	25,40	24,53%	1,183
			648,00	29,08%			16:12:29	25,80		1,521
			683,00	30,65%			16:16:14	22,40		1,479
	Y-Inv-H4T4-10	29,00%	740,00	33,20%	30,98%	1,98%	16:20:40	25,40	24,53%	1,183



05/06/2017			620,00	27,82%			8:59:45	25,10		1,511
			620,00	27,82%			9:05:32	25,30		1,516
	Y-Inv-H1T1-11	31,00%	672,00	30,15%	28,60%	-2,40%	9:10:56	21,40	23,93%	1,459
			618,00	27,73%			9:15:36	23,30		1,485
			620,00	27,82%			9:19:55	24,50		1,504
	Y-Inv-H2T2-11	24,00%	680,00	30,51%	28,69%	4,69%	9:24:53	25,10	24,30%	1,512
			592,00	26,56%			9:30:32	21,60		1,460
			583,00	26,16%			9:34:10	19,10		1,423
	Y-Inv-H3T3-11	23,00%	543,00	24,36%	25,70%	2,70%	9:39:39	22,40	21,03%	1,479
			688,00	30,87%			9:44:45	23,30		1,485
			668,00	29,97%			9:48:42	22,40		1,479
	Y-Inv-H4T4-11	27,00%	695,00	31,18%	30,68%	3,68%	9:52:43	24,50	23,40%	1,504
09/06/2017			618,00	27,73%			10:14:00			
			620,00	27,82%			10:17:24			
	Y-Inv-H1T1-12	29,00%	680,00	30,51%	28,69%	-0,31%	10:21:55			
			575,00	25,80%						
			570,00	25,58%						
	Y-Inv-H2T2-12	25,00%	557,00	24,99%	25,46%	0,46%				
			645,00	28,94%						
			636,00	28,54%						
	Y-Inv-H3T3-12	28,00%	624,00	28,00%	28,49%	0,49%				
			585,00	26,25%						
			592,00	26,56%						
	Y-Inv-H4T4-12	26,00%	579,00	25,98%	26,26%	0,26%				
14/06/2017			616,00	27,64%			10:14:00	24,40		1,501
			688,00	30,87%			10:17:24	21,00		1,452
	Y-Inv-H1T1-13	27,00%	680,00	30,51%	29,67%	2,67%	10:21:55	21,80	22,40%	1,460
			503,00	22,57%			10:26:20	21,80		1,460
			496,00	22,26%			10:31:14	20,41		1,436
	Y-Inv-H2T2-13	21,00%	482,00	21,63%	22,15%	1,15%	10:37:22	17,40	19,87%	1,399
			503,00	22,57%			10:43:36	19,10		1,423
			496,00	22,26%			10:48:06	18,90		1,423
	Y-Inv-H3T3-13	25,00%	482,00	21,63%	22,15%	-2,85%	10:52:45	20,60	19,53%	1,441
			636,00	28,54%			10:58:27	21,00		1,452
			612,00	27,46%			11:03:18	20,90		1,449
	Y-Inv-H4T4-13	24,00%	585,00	26,25%	27,42%	3,42%	11:09:30	22,90	21,60%	1,483
16/06/2017			625,00	28,04%			8:55:10	21,00		1,452
			653,00	29,30%			8:58:17	20,41		1,436
	Y-Inv-H1T1-14	29,00%	670,00	30,06%	29,14%	0,14%	9:02:40	19,10	20,17%	1,423
			503,00	22,57%			9:09:10	21,10		1,452
			496,00	22,26%			9:13:30	18,90		1,423
	Y-Inv-H2T2-14	22,00%	482,00	21,63%	22,15%	0,15%	9:18:30	14,20	18,07%	1,348



			524,00	23,51%			9:22:25	16,70		1,389
			497,00	22,30%			9:27:38	17,40		1,399
	Y-Inv-H3T3-14	21,00%	484,00	21,72%	22,51%	1,51%	9:34:35	18,90	17,67%	1,423
			513,00	23,02%			9:38:15	19,10		1,423
			494,00	22,17%			9:42:40	18,90		1,423
	Y-Inv-H4T4-14	24,00%	483,00	21,67%	22,29%	-1,71%	9:44:25	21,50	19,83%	1,458
19/06/2017			620,00	27,82%			9:55:10	20,00		1,445
			650,00	29,17%			9:59:07	19,00		1,423
	Y-Inv-H1T1-15	28,00%	675,00	30,29%	29,09%	1,09%	10:03:40	18,50	19,17%	1,420
			632,00	28,36%			10:07:48	20,40		1,435
			640,00	28,72%			10:13:41	17,00		1,395
	Y-Inv-H2T2-15	24,00%	664,00	29,79%	28,96%	4,96%	10:18:10	14,00	17,13%	1,345
			503,00	22,57%			10:22:20	16,00		1,380
			496,00	22,26%			10:26:54	16,60		1,389
	Y-Inv-H3T3-15	20,00%	482,00	21,63%	22,15%	2,15%	10:30:40	17,40	16,67%	1,399
			575,00	25,80%			10:34:26	18,50		1,420
			570,00	25,58%			10:44:59	17,20		1,397
	Y-Inv-H4T4-15	22,00%	490,00	21,99%	24,45%	2,45%	10:48:36	19,20	18,30%	1,425
21/06/2017			616,00	27,64%			9:18:45	20,50		1,448
			685,00	30,74%			9:22:48	20,00		1,430
	Y-Inv-H1T1-16	26,00%	670,00	30,06%	29,48%	3,48%	9:27:05	18,90	19,80%	1,423
			617,00	27,68%			9:31:00	20,70		1,445
			622,00	27,91%			9:34:50	18,50		1,418
	Y-Inv-H2T2-16	23,00%	605,00	27,15%	27,58%	4,58%	9:38:20	14,00	17,73%	1,346
			503,00	22,57%			9:42:40	16,50		1,387
			496,00	22,26%			9:46:58	17,20		1,395
	Y-Inv-H3T3-16	19,00%	482,00	21,63%	22,15%	3,15%	9:51:30	18,70	17,47%	1,420
			527,00	23,65%			9:54:55	19,00		1,421
			531,00	23,83%			9:58:37	18,50		1,419
	Y-Inv-H4T4-16	22,00%	545,00	24,45%	23,98%	1,98%	10:02:58	21,00	19,50%	1,452
23/06/2017			495,00	22,21%			10:26:15	19,50		1,438
			487,00	21,85%			10:29:30	18,50		1,420
	Y-Inv-H1T1-17	19,00%	476,00	21,36%	21,81%	2,81%	10:32:58	18,00	18,67%	1,410
			482,00	21,63%			10:34:38	19,70		1,438
			494,00	22,17%			10:37:28	16,80		1,395
	Y-Inv-H2T2-17	19,00%	473,00	21,22%	21,67%	2,67%	10:39:48	14,00	16,83%	1,345
			505,00	22,66%			10:42:17	15,90		1,379
			482,00	21,63%			10:44:28	16,00		1,365
	Y-Inv-H3T3-17	24,00%	493,00	22,12%	22,14%	-1,86%	10:47:02	17,00	16,30%	1,390
			495,00	22,21%			10:49:17	17,80		1,405
			476,00	21,36%			10:51:10	17,10		1,397
	Y-Inv-H4T4-17	17,00%	482,00	21,63%	21,73%	4,73%	10:53:20	18,60	17,83%	1,419

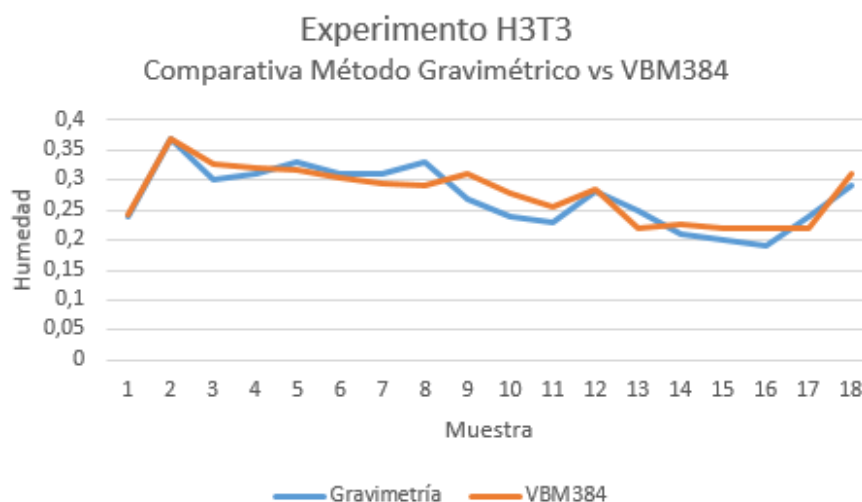
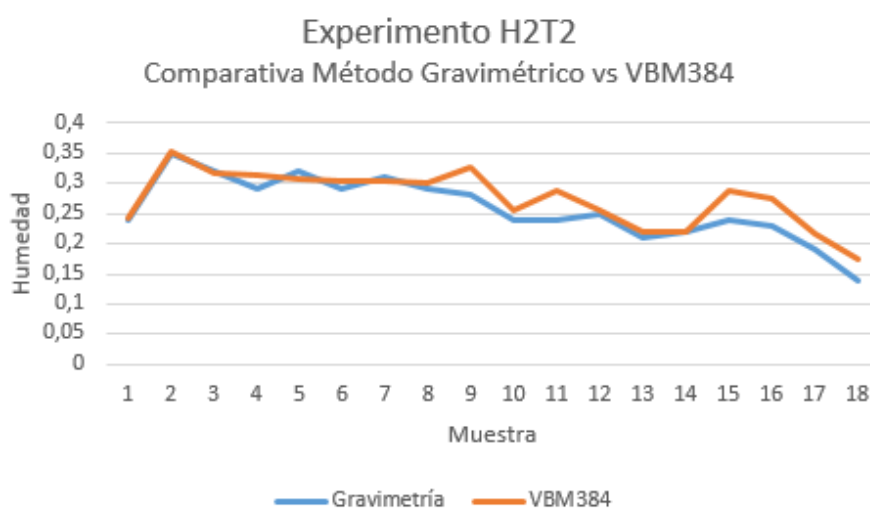
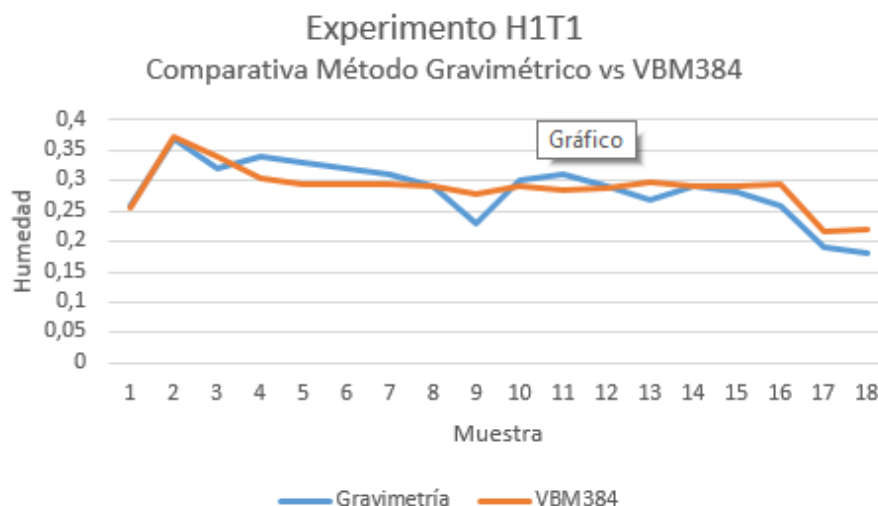


26/06/2017			503,00	22,57%			10:28:25			
			496,00	22,26%			10:31:06			
	Y-Inv-H1T1-18	18,00%	482,00	21,63%	22,15%	4,15%	10:35:50			
			400,00	17,95%			10:37:35			
			396,00	17,77%			10:40:52			
	Y-Inv-H2T2-18	14,00%	367,00	16,47%	17,39%	3,39%	10:44:05			
			699,00	31,36%			10:47:20			
			699,00	31,36%			10:50:35			
	Y-Inv-H3T3-18	29,00%	672,00	30,15%	30,96%	1,96%	10:55:00			
			503,00	22,57%			10:59:10			
			496,00	22,26%			11:02:35			
	Y-Inv-H4T4-18	21,00%	482,00	21,63%	22,15%	1,15%	11:06:57			

*Tabla 7. Comparativa de datos reales entre gravimetría, sensor y TDR*

*Fuente: Autora*





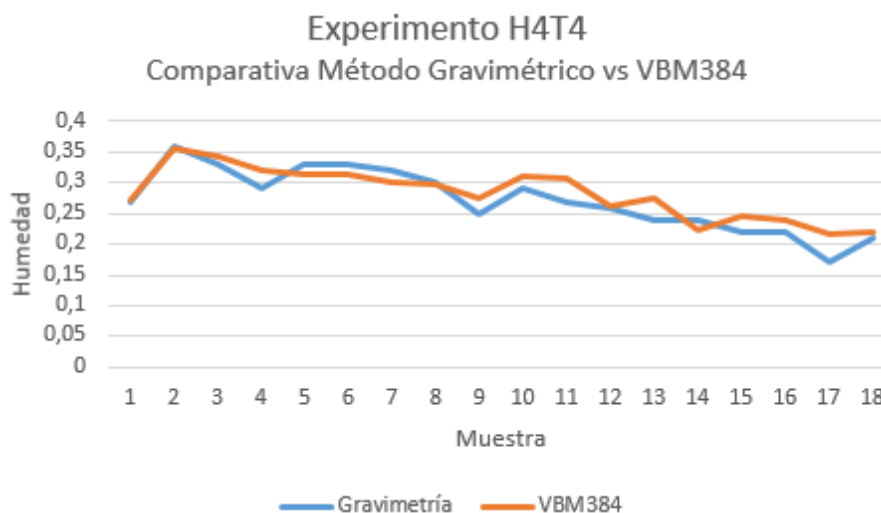


Figura 73. Comparativa de datos reales entre VBM384 y gravimetría.

Fuente: Autora

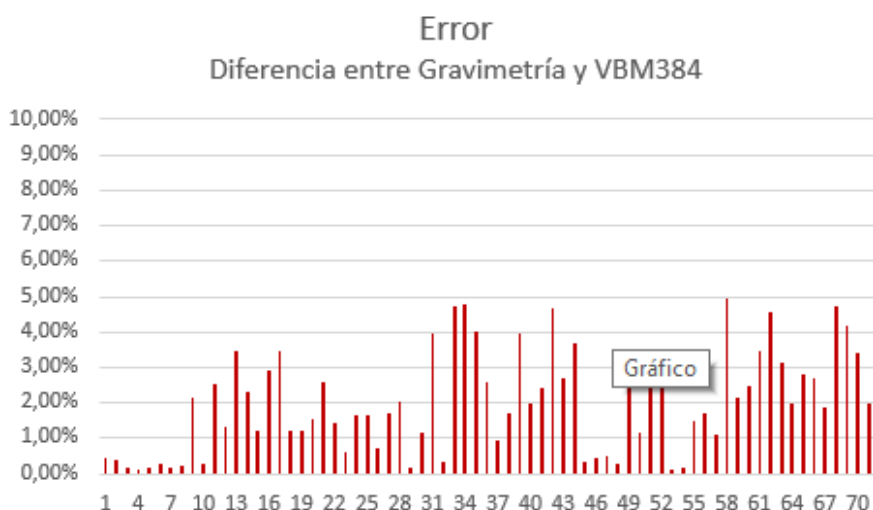


Figura 74. Error. Diferencia entre VBM384 y gravimetría.

Fuente: Autora

#### 4.4 Comparación de características de un sistema comercial y el sistema desarrollado.

Una de las preguntas sobre las cuales se planteó la hipótesis de la investigación objeto de este trabajo, se enfocó en la posibilidad de implementar dispositivos tecnológicos de costos asequibles con características técnicas similares o superiores a los dispositivos existentes en el mercado.

Con el objetivo de responder a estos planteamientos, a continuación se realiza una comparativa técnica y económica entre el sistema comercial requerido para desarrollar el mismo trabajo de investigación y el sistema desarrollado.

#### 4.4.1 Comparación de características técnicas

En la siguiente tabla se realiza una comparación de las características técnicas de un sistema comercial Campbell y del sistema VBM384:

Parámetro	Sistema Comercial	Sistema Desarrollado
<b>Datalogger</b>		
Modelo	CR300	VBM384
Procedencia	USA	Ecuador
Configuración mediante PC	SI	SI
Medición de sensores analógicos	SI	SI
Medición de sensores digitales	SI	SI
Medición de señales de 4 - 20 mA	SI	SI
Permite conexión a Internet	Requiere accesorios adicionales	WiFi, Ethernet, GPRS, 3G
Convertor analógico digital	SI	SI
CPU	ARM CORTEX M4 144 MHz	ARM CORTEX A7 900 MHz
Memoria Interna	30 MB flash - almacenamiento de datos 80 MB flash - para drive CPU 2MB flash - para sistema operativo	6 GB SD - almacenamiento datos 2 GB SD - para sistema operativo
Precisión reloj	$\pm 1$ min por mes	$\pm 1$ min por mes Reloj auto ajustable por servicio NTP
USB	Para conexión a PC únicamente	4 puertos - utilizables para memorias USB, dispositivos WiFi, Accesorios, Interfaz con sistemas de adquisición
Rango de temperatura de funcionamiento	-40 a 70°C	-25 a 80°C

Precisión analógica	$\pm(0.04\% \text{ of reading} \pm 6 \mu\text{V})$	$\pm(0.09\% \text{ de la lectura} \pm 4 \text{ mV})$ a 10 bits $\pm(0.02\% \text{ de la lectura} \pm 1 \text{ mV})$ a 12 bits
Requiere fuente de alimentación externa	Si requiere CS-29796-US	No requiere
Requiere software para programar, comunicar y descargar datos - vendido por separado	Si requiere CS-LOGGNET	No requiere
Requiere software para configuración básica de datalogger	Si requiere CS-PC200W	No requiere
Transmisión de datos a Internet	Requiere accesorios adicionales	SI
Almacenamiento en memoria USB	NO	SI
Almacenamiento en memoria Interna	SI	SI
Tarjeta de memoria Micro SD	NO	SI
Conexión Ethernet	Requiere accesorios adicionales	SI
Conexión WiFi	Requiere accesorios adicionales	SI
<b>Sensor Humedad</b>		
Modelo	CS625	YL-69
Tipo	TDR	Sonda de Voltaje
Principio	Medición en el dominio del tiempo: El sensor genera un impulso electromagnético y mide el tiempo que tarda en viajar la señal. Ese tiempo se utiliza para calcular el contenido volumétrico de agua en el suelo	Medición de caída de voltaje: Se coloca un voltaje en las puntas del sensor y se mide la corriente eléctrica que circula por el suelo entre esas puntas. La humedad se determina por la cantidad de corriente que circula por ese suelo que se constituye en un elemento resistivo empleando la Ley de OHM
Rango de temperatura	0° C a 70° C	0° C a 70° C
Salida:	0 a 3,3 V onda cuadrada con frecuencia dependiente del contenido de agua	0 a 5 V analógicos, con voltaje dependiente del contenido de agua
Corriente de drenaje:	65 mA @ 12V en activo	100 mA @ 5V en activo
	45 uA en reposo	0 uA en reposo
Tensión de alimentación:	5 a 18 VDC	5 VDC

Espaciado entre varillas:	32 mm	10 mm
Diámetro de varilla	3.2 mm	No aplica
Ancho de sonda	No aplica	5 mm
Posibilidad de conexión permanente	Si	Si
<b>Sensor Temperatura</b>		
Modelo		DS18B20
Tipo		Circuito Integrado
Precisión		$\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Interfaz		1-Wire
Rango de medición		-10 a $85\text{ }^{\circ}\text{C}$
Resolución		Programable de 9 a 12 bits
Encapsulado		T0-92

Tabla 8. Comparación de características técnicas

Fuente: Autora

#### 4.4.2 Comparación económica

En la siguiente tabla, se comparan los costos de adquisición de un sistema comercial que realice el mismo trabajo que el sistema VBM384:

Equipo	Precio Sistema Comercial	Precio Sistema Desarrollado
Datalogger	1189,75	204,00
Fuente de alimentación	50,40	0,00
Software para programar, comunicar y descargar datos	1117,20	0,00
Precio de sensor humedad y temperatura	482,12	
Precio de sensor humedad		4,50
Precio de sensor temperatura		6,00
Precio de cable x metro	5,20	0,80

Tabla 9. Comparación económica

Fuente: Autora

El precio unitario del dispositivo VBM384 se determinó de la sumatoria del costo de cada uno de los componentes del mismo, de la siguiente manera:

Componente	P. Unitario
Raspberry Pi	90,00

Arduino UNO	15,00
Borneras + terminales	5,00
Prensa estopas	1,00
Supresor picos	10,00
Chasis IP-65	30,00
Fuente 5VDC 2A	20,00
Material menor	20,00
Memoria micro SD	13,00
<b>TOTAL</b>	<b>204,00</b>

Tabla 10. Precios Unitarios del dispositivo VBM384

Fuente: Autora

Para el experimento, en el cual se miden los parámetros de humedad y temperatura de cuatro macetas aisladas, se requieren los siguientes elementos:

Equipo	Cantidad
Datalogger	1
Fuente de alimentación	1
Software para programar, comunicar y descargar datos	1
Sensor humedad y temperatura	4
Sensor humedad	4
Sensor temperatura	4
Cable x metro	24

Tabla 11. Elementos para montaje

Fuente: Autora

Aplicando el precio unitario a las cantidades de la tabla anterior, se obtienen los totales requeridos para la implementación del sistema comercial y del sistema desarrollado.

Equipo	Cantidad	Total Sistema Comercial	Total Sistema Desarrollado
Datalogger	1	1189,75	204,00
Fuente de alimentación	1	50,40	0,00
Software para programar, comunicar y descargar datos	1	1117,20	0,00
Precio de sensor humedad y temperatura	4	1928,48	0,00

Precio de sensor humedad	4	0,00	18,00
Precio de sensor temperatura	4	0,00	24,00
Precio de cable x metro	24	124,80	19,20
<b>TOTAL</b>		<b>4410,63</b>	<b>265,20</b>

*Tabla 12. Precios unitarios. Implementación sistema comercial – dispositivo*

*VBM384*

*Fuente: Autora*

Se evidencia que, la diferencia en costos es significativa, y para la solución planteada, se consigue un ahorro de USD 4145,43. Es importante notar que, incluso con un costo muy superior, la solución Campbell cotizada, no realiza el envío de información a Internet ni permite el acceso remoto a la misma.

## Conclusiones.

El desarrollo de esta tesis ha permitido alcanzar las siguientes conclusiones:


1. Es posible el desarrollo local de sistemas tecnológicos con aplicación práctica en agricultura. Estos sistemas pueden alcanzar una complejidad elevada, permitiendo la recopilación de datos en tiempo real y su publicación en la Internet.
2. El desarrollo de dispositivos electrónicos permite una reducción importante de costos, como se evidenció en la comparativa económica realizada.
3. El acceso a Internet permite el envío de información en tiempo real, facilitando la toma de decisiones desde ubicaciones remotas.
4. El dispositivo VBM384 de fabricación nacional, es válido para el monitoreo de las variables humedad y temperatura en el suelo.
5. Una vez calibrado, el dispositivo VBM384 de fabricación nacional, entrega resultados con un error menor al 5% en comparación con los dispositivos comerciales
6. El dispositivo VBM384 permite recopilar y almacenar los datos de humedad y temperatura en tiempo real.

La transmisión de la información recopilada y almacenada utilizando IoT hacia la web para ser analizada y utilizada en cualquier lugar del mundo, ha arrojado resultados satisfactorios. La información medida por el dispositivo es enviada correctamente a internet, y puede ser visualizada y descargada desde cualquier lugar del mundo.



## Anexos

### Anexo 1. Resultados de análisis de laboratorio

 UNIVERSIDAD DE CUENCA	LABORATORIO DE FÍSICA DE SUELOS	Página: 1 de 1
	Av. 12 de Octubre y Diego Tapia Teléfono: 4051000 Ext: 3541 <a href="mailto:fca.labsuelos@ucuenca.edu.ec">fca.labsuelos@ucuenca.edu.ec</a> Cod. UC - FCA-FORM 118	Versión: 1
	Elaborado por: Equipo encargado del laboratorio de suelos	Revisado por: Director del laboratorio de suelos

#### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS

Solicitante: Ing. Verónica Bravo  
Proyecto o institución: Maestría de Agroecología segunda cohorte

Teléfono: 0987556031

Correo: [veronicabm74@hotmail.com](mailto:veronicabm74@hotmail.com)

Dirección:

Provincia: Azuay

Cantón: Cuenca

Propiedad/Origen de la muestra: Invernadero Facultad de Ciencias  
Agropecuarias

Coordenadas X:

Fecha de Ingreso: 15/05/2017; 17/05/2017; 19/05/2017

Y:

Fecha de análisis: 15/05/2017-19/05/2017

Altura:

Informe N°: LFS- FCA-0007

Emisión: 22/05/2017

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS					
N°	Código de muestra	Tipo de Análisis			
		Humedad ( contenido gravimétrico g/g)	Materia orgánica %	C.E. (mS/cm)	pH
1	Y-Inv-HT-1-1	0,25	6,25	0,19	6,98
2	Y-Inv-H1T1-1	0,26			
3	Y-Inv-H2T2-1	0,24			
4	Y-Inv-H3T3-1	0,24			
5	Y-Inv-H4T4-1	0,27			
6	Y-Inv-H1T1-2	0,37			
7	Y-Inv-H2T2-2	0,35			
8	Y-Inv-H3T3-2	0,37			
9	Y-Inv-H4T4-2	0,36			
10	Y-Inv-H1T1-3	0,32			
11	Y-Inv-H2T2-3	0,32			
12	Y-Inv-H3T3-3	0,30			
13	Y-Inv-H4T4-3	0,33			

  
 Ing. Iván Bolesaca  
 Director del Laboratorio de Suelos

  
 Ing. Amanda Suqui  
 Responsable del Análisis

### Anexo 1. Resultados de análisis

Fuente: Laboratorio de física de suelos.

## Anexo 2. Resultados de análisis de laboratorio/gravimetría.

	<b>LABORATORIO DE FÍSICA DE SUELOS</b>		Página: 1 de 2
	Av. 12 de Octubre y Diego Tapia Teléfono: 4051000 Ext: 3541 <a href="mailto:fca.labsuelos@ucuenca.edu.ec">fca.labsuelos@ucuenca.edu.ec</a> Cod. UC - FCA-FORM 118		Versión: 1
	Elaborado por: Equipo encargado del laboratorio de suelos		Vigencia desde: en trámite
Revisado por: Director del laboratorio de suelos		Aprobado por: en trámite	

### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS

Solicitante: Ing. Verónica Bravo

Proyecto o institución: Maestría de Agroecología segunda cohorte

Teléfono: 0987556031

Correo: [veronicabm74@hotmail.com](mailto:veronicabm74@hotmail.com)

Dirección: Provincia: Azuay Cantón: Cuenca

Propiedad/Origen de la muestra: Invernadero Facultad de Ciencias Agropecuarias

Coordenadas X:

Fecha de Ingreso: 15/05/2017; 22/05/2017; 25/05/2017

Y:

Fecha de análisis: 22/05/2017-25/05/2017

Altura:

Informe N°: LFS- FCA-0009

Emisión: 29/05/2017

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS							
N°	Código de muestra	Humedad (contenido gravimétrico g/g)	Textura				D.A. (g/cm³)
			Arcilla %	Limo %	Arena %	Clase Textural	
1	Y-Inv-HT-1-1	0,34	26,63	27,65	45,73	Franco arcillo arenoso	1,46
2	Y-Inv-HT-2-1	0,29					
3	Y-Inv-H1T1-4	0,31					
4	Y-Inv-H2T2-4	0,29					
5	Y-Inv-H3T3-4	0,33					
6	Y-Inv-H4T4-4	0,32					
7	Y-Inv-H1T1-5	0,33					
8	Y-Inv-H2T2-5	0,32					
9	Y-Inv-H3T3-5	0,33					
10	Y-Inv-H4T4-5	0,33					
11	Y-Inv-H1T1-6	0,29					
12	Y-Inv-H2T2-6	0,31					
13	Y-Inv-H3T3-6	0,33					
14	Y-Inv-H4T4-6	0,33					

Responsable del Análisis: Ing. Amanda Suqui


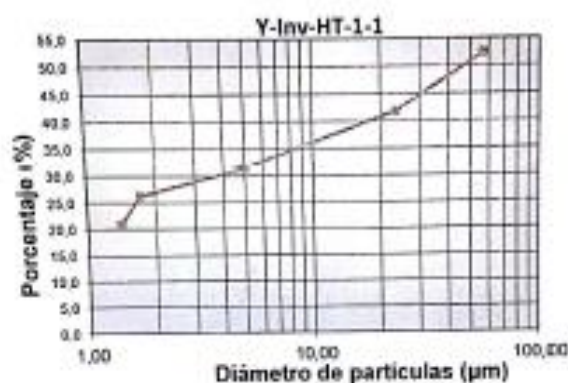
 UNIVERSIDAD DE CUENCA (Fundada en 1569)	LABORATORIO DE FÍSICA DE SUELOS		Página: 2 de 2
	Av. 12 de Octubre y Diego Tapia Teléfono: 4051000 Ext: 3541 <a href="mailto:fca.labsuelos@ucuenca.edu.ec">fca.labsuelos@ucuenca.edu.ec</a> Cod. UC - FCA-FORM 118		Versión: 1
	Elaborado por: Equipo encargado del laboratorio de suelos		Vigencia desde: en trámite
Revisado por: Director del laboratorio de suelos		Aprobado por: en trámite	

Gráfico de textura



  
 Ing. Ivan Belesaca  
 Director del Laboratorio de Suelos

  
 Ing. Amanda Suqui  
 Responsable del Análisis

## Anexo 2. Resultados de análisis

*Fuente: Laboratorio de física de suelos.*

### Anexo 3. Resultados de análisis de laboratorio/gravimetría y curva de retención de humedad.

 UNIVERSIDAD DE CUENCA	<b>LABORATORIO DE FÍSICA DE SUELOS</b>		Página: 1 de 2
	Av. 12 de Octubre y Diego Tapia Teléfono: 4051000 Ext: 3541 <a href="mailto:fca.labsuelos@ucuenca.edu.ec">fca.labsuelos@ucuenca.edu.ec</a> Céd. UC - FCA-FORM 118		Versión: 1
	Elaborado por: Equipo encargado del laboratorio de suelos		Revisado por: Director del laboratorio de suelos
			Aprobado por: en trámite

**INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS**

Solicitante: Ing. Verónica Bravo

Proyecto o institución: Maestría de Agroecología segunda cohorte

Teléfono: 0987556031

Correo: [veronicabm74@hotmail.com](mailto:veronicabm74@hotmail.com)

Dirección:

Provincia: Azuay

Cantón: Cuenca

Propiedad/Origen de la muestra: Invernadero Facultad de Ciencias Agropecuarias

Coordenadas X:

Fecha de Ingreso: 15/05/2017; 22/05/2017; 25/05/2017

Y:

Fecha de análisis: 22/05/2017-3/05/2017

Altura:

Informe N°: LFS- FCA-0012

Emisión: 03/07/2017


**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS**

N°	Código de muestra	Tipo de Análisis							
		Densidad real (g/cm³)	Densidad aparente (g/cm³)	Curva de Retención de humedad (cm³/cm³)					
				pF 0-Sat.	pF 0,5	pF 1,5	pF 2,52-CC	pF 3,4	pF 4,2-PM
1	Y-Inv-HT-1-1	2,24	1,147	0,515	0,373	0,334	0,317	0,265	0,226

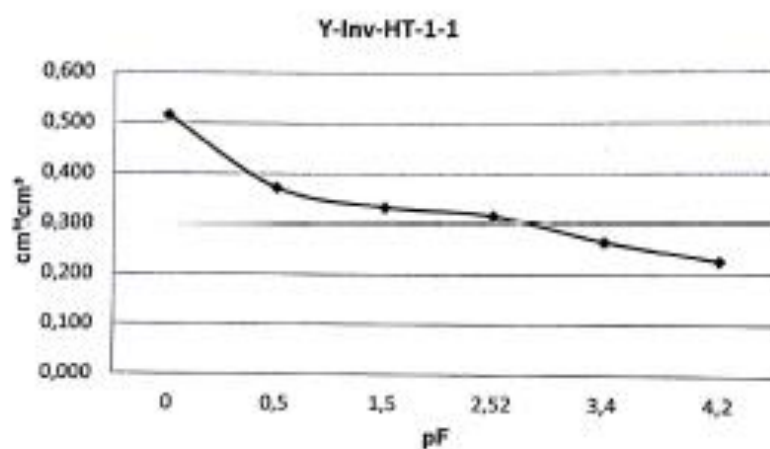
Tipo de Análisis								
N°	Código de muestra	Contenido gravimétrico (g/g)	N°	Código de muestra	Contenido gravimétrico (g/g)	N°	Código de muestra	Contenido gravimétrico (g/g)
1	Y-Inv-H1T1-7	0,31	17	Y-Inv-H1T1-11	0,31	33	Y-Inv-H1T1-15	0,28
2	Y-Inv-H2T2-7	0,31	18	Y-Inv-H2T2-11	0,24	34	Y-Inv-H2T2-15	0,24
3	Y-Inv-H3T3-7	0,31	19	Y-Inv-H3T3-11	0,23	35	Y-Inv-H3T3-15	0,20
4	Y-Inv-H4T4-7	0,32	20	Y-Inv-H4T4-11	0,27	36	Y-Inv-H4T4-15	0,22
5	Y-Inv-H1T1-8	0,29	21	Y-Inv-H1T1-12	0,29	37	Y-Inv-H1T1-16	0,26
6	Y-Inv-H2T2-8	0,29	22	Y-Inv-H2T2-12	0,25	38	Y-Inv-H2T2-16	0,23
7	Y-Inv-H3T3-8	0,33	23	Y-Inv-H3T3-12	0,28	39	Y-Inv-H3T3-16	0,19
8	Y-Inv-H4T4-8	0,30	24	Y-Inv-H4T4-12	0,26	40	Y-Inv-H4T4-16	0,22
9	Y-Inv-H1T1-9	0,23	25	Y-Inv-H1T1-13	0,27	41	Y-Inv-H1T1-17	0,19
10	Y-Inv-H2T2-9	0,28	26	Y-Inv-H2T2-13	0,21	42	Y-Inv-H2T2-17	0,19
11	Y-Inv-H3T3-9	0,27	27	Y-Inv-H3T3-13	0,25	43	Y-Inv-H3T3-17	0,24
12	Y-Inv-H4T4-9	0,25	28	Y-Inv-H4T4-13	0,24	44	Y-Inv-H4T4-17	0,17
13	Y-Inv-H1T1-10	0,30	29	Y-Inv-H1T1-14	0,29	45	Y-Inv-H1T1-18	0,18
14	Y-Inv-H2T2-10	0,24	30	Y-Inv-H2T2-14	0,22	46	Y-Inv-H2T2-18	0,14
15	Y-Inv-H3T3-10	0,24	31	Y-Inv-H3T3-14	0,21	47	Y-Inv-H3T3-18	0,29
16	Y-Inv-H4T4-10	0,29	32	Y-Inv-H4T4-14	0,24	48	Y-Inv-H4T4-18	0,21

F 0= Punto de Saturación, pF 2,52= Capacidad de Campo, pF 4,2= Punto de Marchitez Permanente



 UNIVERSIDAD DE CUENCA 1911	<b>LABORATORIO DE FÍSICA DE SUELOS</b>		Página: 2 de 2
	Av. 12 de Octubre y Diego Tapia Teléfono: 4051000 Ext: 3541 <a href="mailto:fca.labsuelos@ucuenca.edu.ec">fca.labsuelos@ucuenca.edu.ec</a> Cod. UC - FCA-FORM 118		Versión: 1
	Elaborado por: Equipo encargado del laboratorio de suelos		Revisado por: Director del laboratorio de suelos Vigencia desde: en trámite Aprobada por: en trámite

#### Curva de Retención de Humedad



  
 Ing. Iván Belesaca  
 Director del Laboratorio de Suelos

  
 Ing. Amanda Suqui  
 Responsable del Análisis

### Anexo 3. Resultados de análisis

*Fuente: Laboratorio de física de suelos.*

## Anexo 4. Código fuente programas

### Código Fuente de programa para sensado de Temperatura

```
import os
import glob
import time
from datetime import datetime
from ISSStreamer.Streamer import Streamer

streamer =
Streamer(bucket_name="Temperatura_Tesis",
bucket_key="clave_streame",
access_key="clave_streamer")

try:
    sFileStamp = time.strftime('%Y%m%d%H')
    sFileName = '/home/pi/Temperatura/out/' +
sFileStamp + '.txt'
    f=open(sFileName, 'a')

    while True:

        ano = time.strftime('%Y')
        mes = time.strftime('%m')
        dia = time.strftime('%d')
        hora = time.strftime('%H')
        minuto = time.strftime('%M')
        segundo = time.strftime('%S')

        streamer.log('Ano', ano)
        time.sleep(0.2)
        streamer.log('Mes', mes)
        time.sleep(0.2)
        streamer.log('Dia', dia)
        time.sleep(0.2)
        streamer.log('Hora', hora)
        time.sleep(0.2)
        streamer.log('Minuto', minuto)
        time.sleep(0.2)
        streamer.log('Segundo', segundo)
        time.sleep(0.2)
```

```

open("/sys/bus/w1/devices/28-
031643fe46ff/w1_slave")
    thetext = tempfile.read()
    tempfile.close()

    bandera = thetext.split("
") [11].split("\n") [0]
    if bandera == "YES":
        tempdata =
thetext.split("\n") [1].split(" ")[9]
        temperature =
float(tempdata[2:])
        temperatur1 = temperature
/ 1000
        streamer.log('Temp_1',
temperatur1)
    else:
        time.sleep(1)

    tempfile =
open("/sys/bus/w1/devices/28-
041643e8eaff/w1_slave")
    thetext = tempfile.read()
    tempfile.close()

    bandera = thetext.split("
") [11].split("\n") [0]
    if bandera == "YES":
        tempdata =
thetext.split("\n") [1].split(" ")[9]
        temperature =
float(tempdata[2:])
        temperatura2 = temperature
/ 1000
        streamer.log('Temp_2',
temperatura2)
    else:
        time.sleep(1)

```

```

        tempfile =
open("/sys/bus/w1/devices/28-
041643db95ff/w1_slave")
        thetext = tempfile.read()
        tempfile.close()

        bandera = thetext.split("
") [11].split("\n") [0]
        if bandera == "YES":
            tempdata =
thetext.split("\n") [1].split(" ")[9]
            temperature =
float(tempdata[2:])
            temperatura3 = temperature
/ 1000
            streamer.log('Temp_3',
temperatura3)
        else:
            time.sleep(1)

        tempfile =
open("/sys/bus/w1/devices/28-
000005e42333/w1_slave")
        thetext = tempfile.read()
        tempfile.close()
        bandera = thetext.split("
") [11].split("\n") [0]
        if bandera == "YES":
            tempdata =
thetext.split("\n") [1].split(" ")[9]
            temperature =
float(tempdata[2:])
            temperatura4 = temperature
/ 1000
            streamer.log('Temp_4',
temperatura4)

        print "-----"
        print
ano,mas,dia,hora,minuto,segundo
        print "Temperatura 1:
",temperatural

```



```

                                print "Temperatura 2:
", temperatura2
                                print "Temperatura 3:
", temperatura3
                                print "Temperatura 4:
", temperatura4

                                sTimeStamp =
time.strftime('%Y%m%d%H%M%S')
                                f.write(sTimeStamp + '-' +
't1-' + str(temperatura1) + '-' + 't2-' +
str(temperatura2) + '-' + 't3-' +
str(temperatura3) + '-' + 't4-' +
str(temperatura4) + '\n')
                                time.sleep(27)
                                sTmpFileStamp =
time.strftime('%Y%m%d%H')

                                if sTmpFileStamp <>
sFileStamp:
                                    f.close
                                    sFileName = 'out/'
+ sTmpFileStamp + '.txt'
                                    f=open(sFileName,
'a')

                                else:
                                    time.sleep(1)

except KeyboardInterrupt:

    f.close

    pass

```

## Código Fuente de programa para sensado de Humedad

```

import os
import glob
import time
from datetime import datetime
from ISStreamer.Streamer import Streamer
import serial

streamer = Streamer(bucket_name="Humajo-a",
                    bucket_key="BXKXHXKDPKDS",
                    access_key="k09van0d0KkaVzCRdgn1stxrqha0z8gS")

#ser = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', 9600)
ser = serial.Serial('/dev/ttyACMO', 9600)

contador = 1
arranque = 1
corregido = 0

try:
    sFileStamp = time.strftime('%Y%m%d%H')
    sFileName = '/home/pi/Temperatura/out/humedad/' +
    sFileStamp + '.txt'
    f=open(sFileName, 'a')

    while True:

        ano = time.strftime('%Y')
        mes = time.strftime('%m')
        dia = time.strftime('%d')
        hora = time.strftime('%H')
        minuto = time.strftime('%M')
        segundo = time.strftime('%S')

        data_humedad = ser.readline()
        sTimeStamp = time.strftime('%Y%m%d%H%M%S')

        if arranque <> 1:

            if contador == 1:
                bandera =
data_humedad.split(':')[0]
                bandera2 =
data_humedad.split(':')[1]
                humedad_1 =
float(bandera2.split('=')[0])
                #print ('Humedad 1: ',humedad_1)
                #streamer.log ('Humedad 1:
',humedad_1)

                corregido = 1

```

```

        if contador == 2:
            bandera =
data_humedad.split(':')[0]
            bandera2 =
data_humedad.split(':')[1]
            humedad_2 =
float(bandera2.split('\n')[0])
            #print ('Humedad 2: ',humedad_2)
            #streamer.log ('Humedad 2:
',humedad_2)

        if contador == 3:
            bandera =
data_humedad.split(':')[0]
            bandera2 =
data_humedad.split(':')[1]
            humedad_3 =
float(bandera2.split('\n')[0])
            #print ('Humedad 3: ',humedad_3)
            #streamer.log ('Humedad 3:
',humedad_3)

        if contador == 4:
            bandera =
data_humedad.split(':')[0]
            bandera2 =
data_humedad.split(':')[1]
            humedad_4 =
float(bandera2.split('\n')[0])
            #print ('Humedad 4: ',humedad_4)
            #streamer.log ('Humedad 4:
',humedad_4)

    else:
        if contador == 2:
            bandera =
data_humedad.split(':')[0]
            bandera2 =
data_humedad.split(':')[1]
            humedad_2 =
float(bandera2.split('\n')[0])
            #print ('Humedad 2: ',humedad_2)
            arranque = 5
            #print "arranque" , arranque
            #print "contador" , contador

```

```

if contador == 4 :
    #time.sleep(30)
    contador = 1

    #print ("voy a contar 30 segundos")

    if corregido == 1:

        print "-----"
        print
        ano,mes,dia,hora,minuto,segundo

        print ('Humedad 1: ',humedad_1)
        print ('Humedad 2: ',humedad_2)
        print ('Humedad 3: ',humedad_3)
        print ('Humedad 4: ',humedad_4)

        ano = time.strftime('%Y')
        mes = time.strftime('%m')
        dia = time.strftime('%d')
        hora = time.strftime('%H')
        minuto = time.strftime('%M')
        segundo = time.strftime('%S')

        streamer.log('Año', ano)
        time.sleep(0.2)
        streamer.log('Mes', mes)
        time.sleep(0.2)
        streamer.log('Día', dia)
        time.sleep(0.2)
        streamer.log('Hora', hora)
        time.sleep(0.2)
        streamer.log('Minuto', minuto)
        time.sleep(0.2)
        streamer.log('Segundo', segundo)
        time.sleep(0.2)

        streamer.log ('Humedad 1:
',humedad_1)

        time.sleep(2)

        streamer.log ('Humedad 2:
',humedad_2)

        time.sleep(2)

        streamer.log ('Humedad 3:
',humedad_3)

        time.sleep(2)

```

```

                                streamer.log ('Humedad 4:
',humedad_4)

                                time.sleep(2)

                                sTimeStamp =
time.strftime('%Y%m%d%H%M%S')
                                f.write(sTimeStamp + '-' + 'h1-' +
str(humedad_1) + '-' + 'h2-' + str(humedad_2) + '-' + 'h3-
' + str(humedad_3) + '-' + 'h4-' + str(humedad_4) + '\n')

                                time.sleep(22)

                                #print("ya conta 30 segundos")

else:
    contador = contador + 1
    #time.sleep(1)
    #print ("contador = " ,contador)
    #print ("solo 1 segundo")

    sTmpFileStamp = time.strftime('%Y%m%d%H')

    if sTmpFileStamp <> sFileStamp:
        f.close
        sFileName = 'out/humedad/' +
sTmpFileStamp + '.txt'
        f=open(sFileName, 'a')

except KeyboardInterrupt:

    f.close

    pass

```

Código Fuente de programa para adquisición de señales de humedad mediante ARDUINO UNO

```
// YL-39 + YL-69 Sensor de Humedad
byte sensor1_pin = A1;
byte sensor2_pin = A2;
byte sensor3_pin = A3;
byte sensor4_pin = A4;
byte sensor1_vcc = 6;
byte sensor2_vcc = 7;
byte sensor3_vcc = 8;
byte sensor4_vcc = 9;

void setup() {
  // Inicializando la tarjeta
  pinMode(sensor1_vcc, OUTPUT);
  pinMode(sensor2_vcc, OUTPUT);
  pinMode(sensor3_vcc, OUTPUT);
  pinMode(sensor4_vcc, OUTPUT);
  digitalWrite(sensor1_vcc, LOW);
  digitalWrite(sensor2_vcc, LOW);
  digitalWrite(sensor3_vcc, LOW);
  digitalWrite(sensor4_vcc, LOW);

  while (!Serial);
  delay(1000);
  Serial.begin(9600);
}

int read_humidity_sensor() {
  digitalWrite(sensor1_vcc, HIGH);
  delay(500);
  int value = analogRead(sensor1_pin);
  digitalWrite(sensor1_vcc, LOW);
  return 1023 - value;
}

int read_humidity_sensor2() {
  digitalWrite(sensor2_vcc, HIGH);
  delay(500);
  int value = analogRead(sensor2_pin);
  digitalWrite(sensor2_vcc, LOW);
  return 1023 - value;
}
```

```
}

int read_humidity_sensor3() {
    digitalWrite(sensor3_vcc, HIGH);
    delay(500);
    int value = analogRead(sensor3_pin);
    digitalWrite(sensor3_vcc, LOW);
    return 1023 - value;
}

int read_humidity_sensor4() {
    digitalWrite(sensor4_vcc, HIGH);
    delay(500);
    int value = analogRead(sensor4_pin);
    digitalWrite(sensor4_vcc, LOW);
    return 1023 - value;
}

void loop() {
    Serial.print("H1:");
    Serial.println(read_humidity_sensor());
    delay(1000);

    Serial.print("H2:");
    Serial.println(read_humidity_sensor2());
    delay(1000);

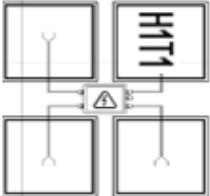
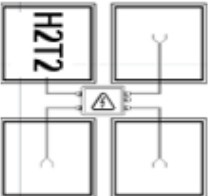
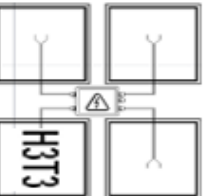
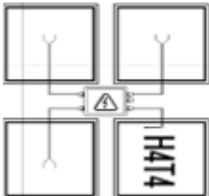
    Serial.print("H3:");
    Serial.println(read_humidity_sensor3());
    delay(1000);

    Serial.print("H4:");
    Serial.println(read_humidity_sensor4());
    delay(5000);
}
```

#### Anexo 4. Código fuente programas.

*Fuente: Programa para adquisición de señal.*

## Anexo 5. Hoja de campo.

FASE DE CALIBRACIÓN: TOMA MUESTRAS PARA ANÁLISIS DE GRAVIMETRÍA/ CALIBRACIÓN.							
<b>Fecha:</b>							
<b>Maceta H1T1</b> 				<b>Maceta H2T2</b> 			
Hora				Hora			
Muestra				Muestra			
<b>Maceta H3T3</b> 				<b>Maceta H4T4</b> 			
Hora				Hora			
Muestra				Muestra			

## Anexo 5. Hoja de campo. Toma de datos.

Fuente: Autora





## Anexo 6. Resumen de datos adquiridos por el Sistema VBM384

	AÑO	MES	DIA	HORA	MINUTO	SEGUNDO	H1	H2	H3	H4
20170517190029	2017	5	17	19	0	29	h1 679.0	h2 680.0	h3 744.0	h4 339.0
20170517190104	2017	5	17	19	1	4	h1 678.0	h2 679.0	h3 744.0	h4 337.0
20170517190139	2017	5	17	19	1	39	h1 677.0	h2 676.0	h3 743.0	h4 337.0
20170517190214	2017	5	17	19	2	14	h1 677.0	h2 677.0	h3 743.0	h4 337.0
20170517190249	2017	5	17	19	2	49	h1 679.0	h2 680.0	h3 744.0	h4 339.0
20170517190323	2017	5	17	19	3	23	h1 678.0	h2 678.0	h3 743.0	h4 334.0
20170517190358	2017	5	17	19	3	58	h1 677.0	h2 677.0	h3 743.0	h4 338.0
20170517190433	2017	5	17	19	4	33	h1 678.0	h2 680.0	h3 744.0	h4 339.0
20170517190508	2017	5	17	19	5	8	h1 677.0	h2 677.0	h3 743.0	h4 337.0
20170517190543	2017	5	17	19	5	43	h1 678.0	h2 679.0	h3 744.0	h4 338.0
20170517190618	2017	5	17	19	6	18	h1 678.0	h2 678.0	h3 744.0	h4 338.0
20170517190653	2017	5	17	19	6	53	h1 678.0	h2 677.0	h3 744.0	h4 337.0
20170517190727	2017	5	17	19	7	27	h1 678.0	h2 679.0	h3 744.0	h4 338.0
20170517190802	2017	5	17	19	8	2	h1 679.0	h2 680.0	h3 743.0	h4 339.0
20170517190837	2017	5	17	19	8	37	h1 678.0	h2 676.0	h3 743.0	h4 337.0
20170517190912	2017	5	17	19	9	12	h1 679.0	h2 680.0	h3 744.0	h4 338.0
20170517190947	2017	5	17	19	9	47	h1 678.0	h2 678.0	h3 743.0	h4 337.0
20170517191022	2017	5	17	19	10	22	h1 677.0	h2 678.0	h3 744.0	h4 338.0
20170517191057	2017	5	17	19	10	57	h1 679.0	h2 681.0	h3 744.0	h4 340.0
20170517191131	2017	5	17	19	11	31	h1 678.0	h2 679.0	h3 745.0	h4 339.0
20170517191206	2017	5	17	19	12	6	h1 679.0	h2 679.0	h3 744.0	h4 340.0
20170517191241	2017	5	17	19	12	41	h1 678.0	h2 680.0	h3 745.0	h4 340.0
20170517191316	2017	5	17	19	13	16	h1 678.0	h2 680.0	h3 744.0	h4 339.0
20170517191351	2017	5	17	19	13	51	h1 678.0	h2 679.0	h3 743.0	h4 339.0



20170517191426	2017	5	17	19	14	26	h1	678.0	h2	676.0	h3	744.0	h4	338.0
20170517191501	2017	5	17	19	15	1	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	337.0
20170517191535	2017	5	17	19	15	35	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	338.0
20170517191610	2017	5	17	19	16	10	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	337.0
20170517191645	2017	5	17	19	16	45	h1	678.0	h2	675.0	h3	744.0	h4	336.0
20170517191720	2017	5	17	19	17	20	h1	678.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517191755	2017	5	17	19	17	55	h1	678.0	h2	679.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517191830	2017	5	17	19	18	30	h1	678.0	h2	679.0	h3	744.0	h4	338.0
20170517191905	2017	5	17	19	19	5	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	338.0
20170517191939	2017	5	17	19	19	39	h1	677.0	h2	677.0	h3	745.0	h4	337.0
20170517192014	2017	5	17	19	20	14	h1	678.0	h2	679.0	h3	744.0	h4	340.0
20170517192049	2017	5	17	19	20	49	h1	679.0	h2	679.0	h3	744.0	h4	338.0
20170517192124	2017	5	17	19	21	24	h1	678.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	336.0
20170517192159	2017	5	17	19	21	59	h1	677.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	338.0
20170517192234	2017	5	17	19	22	34	h1	679.0	h2	680.0	h3	743.0	h4	338.0
20170517192309	2017	5	17	19	23	9	h1	678.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	338.0
20170517192343	2017	5	17	19	23	43	h1	678.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517192418	2017	5	17	19	24	18	h1	678.0	h2	679.0	h3	744.0	h4	335.0
20170517192453	2017	5	17	19	24	53	h1	677.0	h2	676.0	h3	744.0	h4	336.0
20170517192528	2017	5	17	19	25	28	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	337.0
20170517192603	2017	5	17	19	26	3	h1	678.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	337.0
20170517192638	2017	5	17	19	26	38	h1	678.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	338.0
20170517192713	2017	5	17	19	27	13	h1	678.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	338.0
20170517192747	2017	5	17	19	27	47	h1	678.0	h2	679.0	h3	744.0	h4	337.0
20170517192822	2017	5	17	19	28	22	h1	678.0	h2	674.0	h3	744.0	h4	338.0
20170517192857	2017	5	17	19	28	57	h1	678.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517192932	2017	5	17	19	29	32	h1	679.0	h2	681.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517193007	2017	5	17	19	30	7	h1	678.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517193042	2017	5	17	19	30	42	h1	679.0	h2	680.0	h3	745.0	h4	338.0



20170517193117	2017	5	17	19	31	17	h1	678.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517193151	2017	5	17	19	31	51	h1	678.0	h2	679.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517193226	2017	5	17	19	32	26	h1	678.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517193301	2017	5	17	19	33	1	h1	679.0	h2	679.0	h3	744.0	h4	336.0
20170517193336	2017	5	17	19	33	36	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517193411	2017	5	17	19	34	11	h1	678.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517193446	2017	5	17	19	34	46	h1	679.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	334.0
20170517193521	2017	5	17	19	35	21	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517193555	2017	5	17	19	35	55	h1	679.0	h2	679.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517193630	2017	5	17	19	36	30	h1	678.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517193705	2017	5	17	19	37	5	h1	676.0	h2	676.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517193740	2017	5	17	19	37	40	h1	675.0	h2	676.0	h3	743.0	h4	340.0
20170517193815	2017	5	17	19	38	15	h1	677.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517193850	2017	5	17	19	38	50	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517193925	2017	5	17	19	39	25	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517193959	2017	5	17	19	39	59	h1	677.0	h2	677.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517194034	2017	5	17	19	40	34	h1	676.0	h2	676.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517194109	2017	5	17	19	41	9	h1	678.0	h2	677.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517194144	2017	5	17	19	41	44	h1	672.0	h2	677.0	h3	741.0	h4	339.0
20170517194219	2017	5	17	19	42	19	h1	678.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517194254	2017	5	17	19	42	54	h1	676.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517194329	2017	5	17	19	43	29	h1	677.0	h2	677.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517194404	2017	5	17	19	44	4	h1	675.0	h2	677.0	h3	742.0	h4	339.0
20170517194438	2017	5	17	19	44	38	h1	675.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517194513	2017	5	17	19	45	13	h1	674.0	h2	678.0	h3	740.0	h4	339.0
20170517194548	2017	5	17	19	45	48	h1	677.0	h2	678.0	h3	740.0	h4	339.0
20170517194623	2017	5	17	19	46	23	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	338.0
20170517194658	2017	5	17	19	46	58	h1	678.0	h2	679.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517194733	2017	5	17	19	47	33	h1	676.0	h2	678.0	h3	741.0	h4	339.0



20170517194808	2017	5	17	19	48	8	h1	677.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517194842	2017	5	17	19	48	42	h1	678.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517194917	2017	5	17	19	49	17	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517194952	2017	5	17	19	49	52	h1	677.0	h2	676.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517195027	2017	5	17	19	50	27	h1	677.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517195102	2017	5	17	19	51	2	h1	677.0	h2	677.0	h3	741.0	h4	339.0
20170517195137	2017	5	17	19	51	37	h1	677.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517195212	2017	5	17	19	52	12	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	340.0
20170517195246	2017	5	17	19	52	46	h1	677.0	h2	676.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517195321	2017	5	17	19	53	21	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517195356	2017	5	17	19	53	56	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517195431	2017	5	17	19	54	31	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517195506	2017	5	17	19	55	6	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517195541	2017	5	17	19	55	41	h1	677.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517195616	2017	5	17	19	56	16	h1	676.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517195650	2017	5	17	19	56	50	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517195725	2017	5	17	19	57	25	h1	678.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517195800	2017	5	17	19	58	0	h1	677.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517195835	2017	5	17	19	58	35	h1	677.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517195910	2017	5	17	19	59	10	h1	678.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517195945	2017	5	17	19	59	45	h1	678.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517200020	2017	5	17	20	0	20	h1	677.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517200054	2017	5	17	20	0	54	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517200129	2017	5	17	20	1	29	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517200204	2017	5	17	20	2	4	h1	677.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517200239	2017	5	17	20	2	39	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517200314	2017	5	17	20	3	14	h1	677.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517200349	2017	5	17	20	3	49	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517200424	2017	5	17	20	4	24	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0



20170517200458	2017	5	17	20	4	58	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517200533	2017	5	17	20	5	33	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517200608	2017	5	17	20	6	8	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	335.0
20170517200643	2017	5	17	20	6	43	h1	677.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517200718	2017	5	17	20	7	18	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517200753	2017	5	17	20	7	53	h1	676.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517200828	2017	5	17	20	8	28	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517200903	2017	5	17	20	9	3	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517200938	2017	5	17	20	9	38	h1	677.0	h2	677.0	h3	745.0	h4	338.0
20170517201012	2017	5	17	20	10	12	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517201047	2017	5	17	20	10	47	h1	677.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517201122	2017	5	17	20	11	22	h1	677.0	h2	676.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517201157	2017	5	17	20	11	57	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517201232	2017	5	17	20	12	32	h1	677.0	h2	677.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517201307	2017	5	17	20	13	7	h1	678.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517201342	2017	5	17	20	13	42	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517201416	2017	5	17	20	14	16	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	340.0
20170517201451	2017	5	17	20	14	51	h1	677.0	h2	677.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517201526	2017	5	17	20	15	26	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517201601	2017	5	17	20	16	1	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517201636	2017	5	17	20	16	36	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517201711	2017	5	17	20	17	11	h1	678.0	h2	677.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517201746	2017	5	17	20	17	46	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517201820	2017	5	17	20	18	20	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517201855	2017	5	17	20	18	55	h1	678.0	h2	678.0	h3	742.0	h4	340.0
20170517201930	2017	5	17	20	19	30	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517202005	2017	5	17	20	20	5	h1	677.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517202040	2017	5	17	20	20	40	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517202115	2017	5	17	20	21	15	h1	677.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	339.0



20170517202150	2017	5	17	20	21	50	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517202224	2017	5	17	20	22	24	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517202259	2017	5	17	20	22	59	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517202334	2017	5	17	20	23	34	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517202409	2017	5	17	20	24	9	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517202444	2017	5	17	20	24	44	h1	677.0	h2	677.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517202519	2017	5	17	20	25	19	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517202554	2017	5	17	20	25	54	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517202628	2017	5	17	20	26	28	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	340.0
20170517202703	2017	5	17	20	27	3	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	340.0
20170517202738	2017	5	17	20	27	38	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517202813	2017	5	17	20	28	13	h1	678.0	h2	679.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517202848	2017	5	17	20	28	48	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517202923	2017	5	17	20	29	23	h1	676.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517202958	2017	5	17	20	29	58	h1	678.0	h2	677.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517203032	2017	5	17	20	30	32	h1	675.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517203107	2017	5	17	20	31	7	h1	677.0	h2	677.0	h3	743.0	h4	340.0
20170517203142	2017	5	17	20	31	42	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517203217	2017	5	17	20	32	17	h1	677.0	h2	677.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517203252	2017	5	17	20	32	52	h1	678.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517203327	2017	5	17	20	33	27	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517203402	2017	5	17	20	34	2	h1	677.0	h2	678.0	h3	742.0	h4	339.0
20170517203436	2017	5	17	20	34	36	h1	674.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517203511	2017	5	17	20	35	11	h1	677.0	h2	678.0	h3	742.0	h4	339.0
20170517203546	2017	5	17	20	35	46	h1	676.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517203621	2017	5	17	20	36	21	h1	675.0	h2	677.0	h3	742.0	h4	339.0
20170517203656	2017	5	17	20	36	56	h1	674.0	h2	678.0	h3	741.0	h4	340.0
20170517203731	2017	5	17	20	37	31	h1	678.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517203806	2017	5	17	20	38	6	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0



20170517203840	2017	5	17	20	38	40	h1	677.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517203915	2017	5	17	20	39	15	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517203950	2017	5	17	20	39	50	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517204025	2017	5	17	20	40	25	h1	678.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517204100	2017	5	17	20	41	0	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517204135	2017	5	17	20	41	35	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	339.0
20170517204210	2017	5	17	20	42	10	h1	678.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	339.0
20170517204244	2017	5	17	20	42	44	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517204319	2017	5	17	20	43	19	h1	677.0	h2	678.0	h3	742.0	h4	340.0
20170517204354	2017	5	17	20	43	54	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517204429	2017	5	17	20	44	29	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517204504	2017	5	17	20	45	4	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517204539	2017	5	17	20	45	39	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517204614	2017	5	17	20	46	14	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517204648	2017	5	17	20	46	48	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517204723	2017	5	17	20	47	23	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517204758	2017	5	17	20	47	58	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517204833	2017	5	17	20	48	33	h1	678.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	341.0
20170517204908	2017	5	17	20	49	8	h1	677.0	h2	677.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517204943	2017	5	17	20	49	43	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517205018	2017	5	17	20	50	18	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517205052	2017	5	17	20	50	52	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517205127	2017	5	17	20	51	27	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517205202	2017	5	17	20	52	2	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	340.0
20170517205237	2017	5	17	20	52	37	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517205312	2017	5	17	20	53	12	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517205347	2017	5	17	20	53	47	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517205422	2017	5	17	20	54	22	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517205456	2017	5	17	20	54	56	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0



20170517205531	2017	5	17	20	55	31	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517205606	2017	5	17	20	56	6	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517205641	2017	5	17	20	56	41	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517205716	2017	5	17	20	57	16	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517205751	2017	5	17	20	57	51	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517205826	2017	5	17	20	58	26	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517205900	2017	5	17	20	59	0	h1	678.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517205935	2017	5	17	20	59	35	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517210010	2017	5	17	21	0	10	h1	677.0	h2	677.0	h3	745.0	h4	341.0
20170517210045	2017	5	17	21	0	45	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517210120	2017	5	17	21	1	20	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517210155	2017	5	17	21	1	55	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517210230	2017	5	17	21	2	30	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517210304	2017	5	17	21	3	4	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	340.0
20170517210339	2017	5	17	21	3	39	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517210414	2017	5	17	21	4	14	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517210449	2017	5	17	21	4	49	h1	676.0	h2	677.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517210524	2017	5	17	21	5	24	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517210559	2017	5	17	21	5	59	h1	677.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517210634	2017	5	17	21	6	34	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517210708	2017	5	17	21	7	8	h1	677.0	h2	677.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517210743	2017	5	17	21	7	43	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517210818	2017	5	17	21	8	18	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517210853	2017	5	17	21	8	53	h1	677.0	h2	677.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517210928	2017	5	17	21	9	28	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517211003	2017	5	17	21	10	3	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517211038	2017	5	17	21	10	38	h1	677.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517211112	2017	5	17	21	11	12	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517211147	2017	5	17	21	11	47	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0





20170517211222	2017	5	17	21	12	22	h1	677.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517211257	2017	5	17	21	12	57	h1	676.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	339.0
20170517211332	2017	5	17	21	13	32	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517211407	2017	5	17	21	14	7	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517211442	2017	5	17	21	14	42	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517211517	2017	5	17	21	15	17	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517211551	2017	5	17	21	15	51	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517211626	2017	5	17	21	16	26	h1	675.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517211701	2017	5	17	21	17	1	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517211736	2017	5	17	21	17	36	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517211811	2017	5	17	21	18	11	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	340.0
20170517211846	2017	5	17	21	18	46	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517211921	2017	5	17	21	19	21	h1	677.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517211955	2017	5	17	21	19	55	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517212030	2017	5	17	21	20	30	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517212105	2017	5	17	21	21	5	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	339.0
20170517212140	2017	5	17	21	21	40	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517212215	2017	5	17	21	22	15	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517212250	2017	5	17	21	22	50	h1	678.0	h2	677.0	h3	746.0	h4	339.0
20170517212325	2017	5	17	21	23	25	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517212359	2017	5	17	21	23	59	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517212434	2017	5	17	21	24	34	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517212509	2017	5	17	21	25	9	h1	676.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517212544	2017	5	17	21	25	44	h1	677.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	341.0
20170517212619	2017	5	17	21	26	19	h1	678.0	h2	675.0	h3	744.0	h4	340.0
20170517212654	2017	5	17	21	26	54	h1	678.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	340.0
20170517212729	2017	5	17	21	27	29	h1	676.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517212803	2017	5	17	21	28	3	h1	676.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517212838	2017	5	17	21	28	38	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0



20170517212913	2017	5	17	21	29	13	h1	677.0	h2	678.0	h3	744.0	h4	340.0
20170517212948	2017	5	17	21	29	48	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517213023	2017	5	17	21	30	23	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517213058	2017	5	17	21	30	58	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517213133	2017	5	17	21	31	33	h1	676.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517213207	2017	5	17	21	32	7	h1	676.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517213242	2017	5	17	21	32	42	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517213317	2017	5	17	21	33	17	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517213352	2017	5	17	21	33	52	h1	678.0	h2	675.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517213427	2017	5	17	21	34	27	h1	678.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517213502	2017	5	17	21	35	2	h1	678.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517213537	2017	5	17	21	35	37	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517213611	2017	5	17	21	36	11	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517213646	2017	5	17	21	36	46	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517213721	2017	5	17	21	37	21	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517213756	2017	5	17	21	37	56	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517213831	2017	5	17	21	38	31	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517213906	2017	5	17	21	39	6	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517213941	2017	5	17	21	39	41	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517214015	2017	5	17	21	40	15	h1	677.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517214050	2017	5	17	21	40	50	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517214125	2017	5	17	21	41	25	h1	676.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517214200	2017	5	17	21	42	0	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517214235	2017	5	17	21	42	35	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517214310	2017	5	17	21	43	10	h1	678.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517214345	2017	5	17	21	43	45	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517214419	2017	5	17	21	44	19	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517214454	2017	5	17	21	44	54	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517214529	2017	5	17	21	45	29	h1	678.0	h2	676.0	h3	744.0	h4	340.0



20170517214604	2017	5	17	21	46	4	h1	678.0	h2	677.0	h3	745.0	h4	341.0
20170517214639	2017	5	17	21	46	39	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517214714	2017	5	17	21	47	14	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517214749	2017	5	17	21	47	49	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517214823	2017	5	17	21	48	23	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	341.0
20170517214858	2017	5	17	21	48	58	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517214933	2017	5	17	21	49	33	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517215008	2017	5	17	21	50	8	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517215043	2017	5	17	21	50	43	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517215118	2017	5	17	21	51	18	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517215153	2017	5	17	21	51	53	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517215227	2017	5	17	21	52	27	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517215302	2017	5	17	21	53	2	h1	679.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517215337	2017	5	17	21	53	37	h1	678.0	h2	676.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517215412	2017	5	17	21	54	12	h1	675.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517215447	2017	5	17	21	54	47	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517215522	2017	5	17	21	55	22	h1	676.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517215557	2017	5	17	21	55	57	h1	676.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517215631	2017	5	17	21	56	31	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517215706	2017	5	17	21	57	6	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517215741	2017	5	17	21	57	41	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517215816	2017	5	17	21	58	16	h1	678.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517215851	2017	5	17	21	58	51	h1	678.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517215926	2017	5	17	21	59	26	h1	678.0	h2	676.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517220001	2017	5	17	22	0	1	h1	677.0	h2	675.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517220035	2017	5	17	22	0	35	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517220110	2017	5	17	22	1	10	h1	678.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517220145	2017	5	17	22	1	45	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517220220	2017	5	17	22	2	20	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0



20170517220255	2017	5	17	22	2	55	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517220330	2017	5	17	22	3	30	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517220405	2017	5	17	22	4	5	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517220439	2017	5	17	22	4	39	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517220514	2017	5	17	22	5	14	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517220549	2017	5	17	22	5	49	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517220624	2017	5	17	22	6	24	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517220659	2017	5	17	22	6	59	h1	677.0	h2	677.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517220734	2017	5	17	22	7	34	h1	677.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517220809	2017	5	17	22	8	9	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517220843	2017	5	17	22	8	43	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517220918	2017	5	17	22	9	18	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517220953	2017	5	17	22	9	53	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517221029	2017	5	17	22	10	29	h1	678.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517221104	2017	5	17	22	11	4	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517221139	2017	5	17	22	11	39	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517221213	2017	5	17	22	12	13	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517221249	2017	5	17	22	12	49	h1	673.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517221324	2017	5	17	22	13	24	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517221359	2017	5	17	22	13	59	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517221433	2017	5	17	22	14	33	h1	678.0	h2	677.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517221508	2017	5	17	22	15	8	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517221543	2017	5	17	22	15	43	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517221618	2017	5	17	22	16	18	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517221653	2017	5	17	22	16	53	h1	678.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	341.0
20170517221728	2017	5	17	22	17	28	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517221803	2017	5	17	22	18	3	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517221837	2017	5	17	22	18	37	h1	678.0	h2	677.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517221912	2017	5	17	22	19	12	h1	675.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	340.0



20170517221947	2017	5	17	22	19	47	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	341.0
20170517222022	2017	5	17	22	20	22	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	340.0
20170517222057	2017	5	17	22	20	57	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517222132	2017	5	17	22	21	32	h1	678.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517222207	2017	5	17	22	22	7	h1	675.0	h2	679.0	h3	745.0	h4	341.0
20170517222241	2017	5	17	22	22	41	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517222316	2017	5	17	22	23	16	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517222351	2017	5	17	22	23	51	h1	678.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	341.0
20170517222426	2017	5	17	22	24	26	h1	676.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517222501	2017	5	17	22	25	1	h1	677.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517222536	2017	5	17	22	25	36	h1	677.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517222611	2017	5	17	22	26	11	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517222645	2017	5	17	22	26	45	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517222720	2017	5	17	22	27	20	h1	677.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517222755	2017	5	17	22	27	55	h1	678.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517222830	2017	5	17	22	28	30	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517222905	2017	5	17	22	29	5	h1	675.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517222940	2017	5	17	22	29	40	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517223015	2017	5	17	22	30	15	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517223049	2017	5	17	22	30	49	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517223124	2017	5	17	22	31	24	h1	678.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517223159	2017	5	17	22	31	59	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517223234	2017	5	17	22	32	34	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517223309	2017	5	17	22	33	9	h1	678.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517223344	2017	5	17	22	33	44	h1	677.0	h2	678.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517223419	2017	5	17	22	34	19	h1	676.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517223453	2017	5	17	22	34	53	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517223528	2017	5	17	22	35	28	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517223603	2017	5	17	22	36	3	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0



20170517223638	2017	5	17	22	36	38	h1	678.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517223713	2017	5	17	22	37	13	h1	678.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517223748	2017	5	17	22	37	48	h1	677.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517223823	2017	5	17	22	38	23	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517223857	2017	5	17	22	38	57	h1	678.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517223932	2017	5	17	22	39	32	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517224007	2017	5	17	22	40	7	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517224042	2017	5	17	22	40	42	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517224117	2017	5	17	22	41	17	h1	678.0	h2	678.0	h3	743.0	h4	340.0
20170517224152	2017	5	17	22	41	52	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517224227	2017	5	17	22	42	27	h1	678.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517224301	2017	5	17	22	43	1	h1	677.0	h2	678.0	h3	745.0	h4	341.0
20170517224336	2017	5	17	22	43	36	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517224411	2017	5	17	22	44	11	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517224446	2017	5	17	22	44	46	h1	678.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517224521	2017	5	17	22	45	21	h1	677.0	h2	677.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517224556	2017	5	17	22	45	56	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517224631	2017	5	17	22	46	31	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517224705	2017	5	17	22	47	5	h1	678.0	h2	676.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517224740	2017	5	17	22	47	40	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517224815	2017	5	17	22	48	15	h1	677.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517224850	2017	5	17	22	48	50	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517224925	2017	5	17	22	49	25	h1	678.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517225000	2017	5	17	22	50	0	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517225035	2017	5	17	22	50	35	h1	678.0	h2	677.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517225109	2017	5	17	22	51	9	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517225144	2017	5	17	22	51	44	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517225219	2017	5	17	22	52	19	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517225254	2017	5	17	22	52	54	h1	678.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0



20170517225329	2017	5	17	22	53	29	h1	676.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517225404	2017	5	17	22	54	4	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517225439	2017	5	17	22	54	39	h1	677.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517225513	2017	5	17	22	55	13	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	340.0
20170517225548	2017	5	17	22	55	48	h1	677.0	h2	675.0	h3	748.0	h4	340.0
20170517225623	2017	5	17	22	56	23	h1	677.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	340.0
20170517225658	2017	5	17	22	56	58	h1	678.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517225733	2017	5	17	22	57	33	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517225808	2017	5	17	22	58	8	h1	678.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517225843	2017	5	17	22	58	43	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517225917	2017	5	17	22	59	17	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517225952	2017	5	17	22	59	52	h1	677.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517230027	2017	5	17	23	0	27	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517230102	2017	5	17	23	1	2	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517230137	2017	5	17	23	1	37	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517230212	2017	5	17	23	2	12	h1	676.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517230247	2017	5	17	23	2	47	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	340.0
20170517230321	2017	5	17	23	3	21	h1	677.0	h2	680.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517230356	2017	5	17	23	3	56	h1	678.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517230431	2017	5	17	23	4	31	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517230506	2017	5	17	23	5	6	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517230541	2017	5	17	23	5	41	h1	676.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517230616	2017	5	17	23	6	16	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517230651	2017	5	17	23	6	51	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	340.0
20170517230726	2017	5	17	23	7	26	h1	677.0	h2	677.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517230800	2017	5	17	23	8	0	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517230835	2017	5	17	23	8	35	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517230910	2017	5	17	23	9	10	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517230945	2017	5	17	23	9	45	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0



20170517231020	2017	5	17	23	10	20	h1	678.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517231055	2017	5	17	23	10	55	h1	677.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517231130	2017	5	17	23	11	30	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517231204	2017	5	17	23	12	4	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517231239	2017	5	17	23	12	39	h1	677.0	h2	677.0	h3	748.0	h4	340.0
20170517231314	2017	5	17	23	13	14	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517231349	2017	5	17	23	13	49	h1	678.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517231424	2017	5	17	23	14	24	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517231459	2017	5	17	23	14	59	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517231534	2017	5	17	23	15	34	h1	678.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517231608	2017	5	17	23	16	8	h1	675.0	h2	679.0	h3	746.0	h4	341.0
20170517231643	2017	5	17	23	16	43	h1	678.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517231718	2017	5	17	23	17	18	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	342.0
20170517231753	2017	5	17	23	17	53	h1	675.0	h2	677.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517231828	2017	5	17	23	18	28	h1	678.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517231903	2017	5	17	23	19	3	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517231938	2017	5	17	23	19	38	h1	678.0	h2	677.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517232012	2017	5	17	23	20	12	h1	677.0	h2	677.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517232047	2017	5	17	23	20	47	h1	678.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	342.0
20170517232122	2017	5	17	23	21	22	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	340.0
20170517232157	2017	5	17	23	21	57	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517232232	2017	5	17	23	22	32	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517232307	2017	5	17	23	23	7	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517232342	2017	5	17	23	23	42	h1	676.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517232416	2017	5	17	23	24	16	h1	678.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517232451	2017	5	17	23	24	51	h1	676.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517232526	2017	5	17	23	25	26	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	340.0
20170517232601	2017	5	17	23	26	1	h1	678.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	342.0
20170517232636	2017	5	17	23	26	36	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0





20170517232711	2017	5	17	23	27	11	h1	678.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517232746	2017	5	17	23	27	46	h1	676.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	340.0
20170517232820	2017	5	17	23	28	20	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517232855	2017	5	17	23	28	55	h1	678.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	342.0
20170517232930	2017	5	17	23	29	30	h1	677.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517233005	2017	5	17	23	30	5	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517233040	2017	5	17	23	30	40	h1	678.0	h2	676.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517233115	2017	5	17	23	31	15	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	342.0
20170517233150	2017	5	17	23	31	50	h1	677.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517233224	2017	5	17	23	32	24	h1	677.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517233259	2017	5	17	23	32	59	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517233334	2017	5	17	23	33	34	h1	678.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517233409	2017	5	17	23	34	9	h1	678.0	h2	677.0	h3	748.0	h4	340.0
20170517233444	2017	5	17	23	34	44	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517233519	2017	5	17	23	35	19	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517233554	2017	5	17	23	35	54	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517233628	2017	5	17	23	36	28	h1	677.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517233703	2017	5	17	23	37	3	h1	678.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517233738	2017	5	17	23	37	38	h1	677.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517233813	2017	5	17	23	38	13	h1	675.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517233848	2017	5	17	23	38	48	h1	678.0	h2	677.0	h3	748.0	h4	340.0
20170517233923	2017	5	17	23	39	23	h1	678.0	h2	677.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517233958	2017	5	17	23	39	58	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517234032	2017	5	17	23	40	32	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517234107	2017	5	17	23	41	7	h1	677.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517234142	2017	5	17	23	41	42	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517234217	2017	5	17	23	42	17	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517234252	2017	5	17	23	42	52	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517234327	2017	5	17	23	43	27	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0



20170517234402	2017	5	17	23	44	2	h1	678.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517234437	2017	5	17	23	44	37	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517234511	2017	5	17	23	45	11	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517234547	2017	5	17	23	45	47	h1	678.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517234622	2017	5	17	23	46	22	h1	678.0	h2	677.0	h3	748.0	h4	342.0
20170517234657	2017	5	17	23	46	57	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517234731	2017	5	17	23	47	31	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517234806	2017	5	17	23	48	6	h1	677.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517234841	2017	5	17	23	48	41	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517234916	2017	5	17	23	49	16	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517234951	2017	5	17	23	49	51	h1	678.0	h2	677.0	h3	748.0	h4	345.0
20170517235026	2017	5	17	23	50	26	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517235101	2017	5	17	23	51	1	h1	677.0	h2	675.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517235135	2017	5	17	23	51	35	h1	678.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	341.0
20170517235210	2017	5	17	23	52	10	h1	678.0	h2	679.0	h3	747.0	h4	342.0
20170517235245	2017	5	17	23	52	45	h1	677.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517235320	2017	5	17	23	53	20	h1	678.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	342.0
20170517235355	2017	5	17	23	53	55	h1	676.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517235430	2017	5	17	23	54	30	h1	678.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517235505	2017	5	17	23	55	5	h1	677.0	h2	679.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517235539	2017	5	17	23	55	39	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517235614	2017	5	17	23	56	14	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517235649	2017	5	17	23	56	49	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	342.0
20170517235724	2017	5	17	23	57	24	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517235759	2017	5	17	23	57	59	h1	678.0	h2	678.0	h3	748.0	h4	341.0
20170517235834	2017	5	17	23	58	34	h1	678.0	h2	678.0	h3	747.0	h4	341.0

Anexo 6. Resumen de datos adquiridos por el sistema VBM384

*Fuente: Autora*

## Referencias Bibliográficas.

Shovic, John (2016), Raspberry Pi IoT Projects. Apress, p. (1)

Miller, Michael (2015), The Internet of Things, Pearson Education, USA

Unión Internacional de Telecomunicaciones (2014), Recomendación UIT-T Y.2060 Descripción general de internet de los objetos, Ginebra, Suiza

Tao, F et al, (2016), Internet of Things in product life-cycle energy management, Elsevier, China

Chen, X, Jin, Z, (2012), Research on Key Technology and Applications for Internet of Things, Elsevier, China

Galinina, O, Balandin, S, Koucheryavy, Y, (2016), Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems, Springer, St. Petersburg, Rusia.

Etter, D, (2016), IoT (Internet of Things) Programming

Zhu, Y, Song, J, Dong, F, (2011), Applications of wireless sensor network in the agriculture environment monitoring, Elsevier, China

Piromalis, D, Arvanitis, K, Sigrimis, N, (2013), DASH7 Mode 2: A Promising Perspective for Wireless Agriculture, IFAC, Athens, Greece

Barmounakis, S, et al, (2015), Management and control applications in Agriculture domain via a Future Internet Business-to-Business platform

Kaloxylos, A, et al, (2013), The Use of Future Internet technologies in the Agriculture and Food Sectors: Integrating the Supply Chain, Elsevier, Bremen, Germany



Loureiro, R, et al, (2015), Estudio plataformas IoT, Catalunya

L, Tan, et al, (2010), Future internet: The Internet of Things, 2010 3rd Int. Conf. Adv. Comput. Theory Eng., pp. V5–376–V5–380,

"Internet of Things - Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems. IERC Cluster Book 2013, River Publishers, ISBN: 978-87-92982-73-5.

Alcaraz, M. (2014). Internet de las cosas. Recuperado de <http://jeuazaru.com/wp-content/uploads/2014/10/Internet-of-Things.pdf>

López, S. & Grendamer, C. & Corsini J.R. (2009). El internet de las cosas. Recuperado de [http://www.accenture.com/SiteCollectionDocuments/Local\\_Spain/PDF/Accenture\\_FTF\\_Internet\\_de\\_las\\_Cosas\\_2011.pdf](http://www.accenture.com/SiteCollectionDocuments/Local_Spain/PDF/Accenture_FTF_Internet_de_las_Cosas_2011.pdf)

Salazar, J., Silvestre, S. (2016). Internet de las cosas. European Virtual Learning Platform for Electrical and Information Engineering.

SOIL SURVEY STAFF. (1999). Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2a. Ed. Agriculture Handbook Nº 436. Soil Survey Staff. Washington D. C. 869 p.

Jaramillo, D. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>

Kononova, M. M., & de Muntan, E. B. (1982). Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Oikos-tau.

Almendros, G., Polo, A., Ibáñez, J. J., & Lobo, M. C. (1984). De la materia orgánica del suelo. Rev. Ecol. Biol. Sol, 21(1), 7-20.

Koorevaar, P. Menelik, G. Dirken, C. (1983). Elements of Soil Physics. Elsevier Ed. 227 pp.

Stakman, W. (1980). Measuring soil moisture. In: Drainage Principles and Applications. Vol. III ILRI. Wageningen. 221–251.

Martinez, J. (1995). Medida de curvas de retención de humedad en laboratorio y su estimación. Recuperado de [http://abe.ufl.edu/carpena/files/pdf/zona\\_no\\_saturada/avances\\_en\\_la\\_investigacion\\_v2/c13\\_193\\_202.pdf](http://abe.ufl.edu/carpena/files/pdf/zona_no_saturada/avances_en_la_investigacion_v2/c13_193_202.pdf)

INECC. (2009). Análisis físicos y químicos del suelo. Recuperado de <http://www.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/509/analisis.pdf>

Doerge T. Kitchen N. Lund E. (2009). Mapeo de Conductividad Eléctrica del Suelo. Página 1 de 7 Mapeo de Conductividad Eléctrica del Suelo. Guías para el Manejo del Suelo Adecuado a Cada Sitio – SSMG-30 Traducido por Alberto Guerrero. LOGEMIN S.A. Recuperado de [http://www.logemin.com/eng/Download/pdf/39\\_mapeo\\_conductividad\\_electrica.pdf](http://www.logemin.com/eng/Download/pdf/39_mapeo_conductividad_electrica.pdf)

Porta, J., López, A., Poch, R., (2014). Edafología Uso y Protección de Suelos. Cataluña España.

Plaster, E., (1997). Soil Science & Management. España.

Gardner, H., (1986). Water content. En: Methods of soil analysis Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd Edition. Agronomy 9 (1), 493-541. Ed. A. Klute. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin (USA).

FAO., (2008). Glosario de términos sobre humedad del suelo. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y4690s/y4690s02.htm>



Flores, L., Alcalá, R. (2014). Manual de procedimientos analíticos, México

Webster, J. (1999). *The measurement, instrumentation, and sensors handbook*. 1st ed. Boca Raton, FL: CRC Press.

Carr, J., (1997). *Sensors & Circuits: Sensors, Transducers, & Supporting Circuits For Electronic Instrumentation Measurement and Control*. United States: Prentice Hall.

Soloman, S., (2010). *Sensors Handbook*. United States: McGraw-Hill.

Fraden, J., (2004). *Handbook of modern sensors: physics, design and applications*. United States: Springer.

Shorey, R. (2008). *Mobile, wireless, and sensor networks*. 1st ed. Piscataway: IEEE Press.

Wilson, J. (2005). *Sensor technology handbook*. 1st ed. Amsterdam: Newnes

Ripka, P. and Tipek, A. (2010). *Modern sensors handbook*. 1st ed. Hoboken: Wiley Online Library.

Huddleston, C. (2007). *Intelligent sensor design using the microchip dsPIC*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier/Newnes.